



Escuela
Politécnica
Superior

La cubierta verde como alternativa económica y sostenible a las cubiertas convencionales



Grado en Arquitectura Técnica

Trabajo Fin de Grado

Autor:

Eva Borges Serradell

Tutor/es:

Encarnación García González

Julio 2018



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

LA CUBIERTA VERDE COMO ALTERNATIVA ECONÓMICA Y SOSTENIBLE A LAS CUBIERTAS CONVENCIONALES

Grado en Arquitectura Técnica

Trabajo Final de Grado

Autora:

Eva Borges Serradell

Tutora:

Encarnación García González

Julio 2018

RESUMEN

La construcción de cubiertas verdes, tanto en la nueva construcción como en la rehabilitación de edificios, se ha entendido siempre como una alternativa sostenible a las cubiertas convencionales. La implantación de sistemas vegetales en la cubierta de los edificios aporta innumerables ventajas para el medioambiente, además de un ahorro energético por parte del usuario. Pero, ¿por qué en la mayoría de edificaciones de nuestro país no se adopta esta medida?

Esta incongruencia conlleva a pensar que podría deberse a un alto coste en su ejecución. Por ello, es necesario realizar un estudio económico que compare el coste de ejecución de una cubierta verde de tipo extensivo con el de otras cubiertas comúnmente utilizadas en la actualidad, pero teniendo en cuenta que cada tipología de cubierta aporte las mismas prestaciones térmicas que la cubierta verde.

Tras el estudio realizado, se comprueba como las cubiertas verdes de tipo extensivo, además de ser una medida que consigue transformar las áreas urbanas en ambientes más sostenibles, aportando, con ello, calidad de vida a los ciudadanos, también son una medida económica alternativa a las cubiertas convencionales.

Palabras clave: cubierta verde, construcción, medioambiente, alternativa sostenible, ahorro económico.

ABSTRACT

The construction of green roofs, both in new construction and rehabilitation of buildings, has been understood as a sustainable alternative to conventional covers. The implementation of plant systems in buildings cover brings countless benefits for the environment, as well as an energy saving by the user. But not this measure is adopted in the majority of buildings in our country?

This incongruity leads to think that it could be due to a high cost in its execution. Therefore, it is necessary to carry out an economic study comparing the cost of implementation of a green roof of the extensive type with other roofs commonly used today, but bearing in mind that each type of cover will provide the same thermal performance than the green cover.

After the study, is checked as extensive type green covers, besides being a measure that manages to transform urban areas more sustainable environments, providing, thereby, quality of life to the citizens, are also an economic measure alternative to conventional covers.

Keywords: green roofs, construction, environment, sustainable alternative, economic saving.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y mis hermanas, por ser quién soy y haberme enseñado a no rendirme nunca. Por su apoyo, cariño y afecto incondicional durante toda mi etapa académica y mi vida.

A mis amigos, por su paciencia infinita y por haber estado a mi lado siempre que lo he necesitado.

A mi tutora Encarna García por haber confiado en mí en todo momento para la realización de este trabajo. Por su paciencia, tiempo y dedicación durante todos estos meses, y por los ánimos y motivación recibidos desde un primer momento.

A Jordi Serramia por haberme facilitado documentación y datos útiles, sin los cuales no podría haber llevado a cabo este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

<i>Resumen</i>	3
<i>Abstract</i>	4
<i>Agradecimientos</i>	5
<i>Índice de contenidos</i>	7
<i>Índice de figuras</i>	9
<i>Índice de tablas</i>	11
1 INTRODUCCIÓN	12
1.1 JUSTIFICACIÓN.....	13
2 MARCO TEÓRICO	15
3 OBJETIVOS	17
4 METODOLOGÍA	18
5 CUBIERTAS VEGETALES	19
5.1 DEFINICIÓN	19
5.2 CONTEXTO HISTÓRICO Y EVOLUCIÓN	19
5.3 CLASIFICACIÓN.....	25
5.3.1 CUBIERTA EXTENSIVA O ECOLÓGICA	25
5.3.2 CUBIERTA INTENSIVA O JARDÍN	26
5.3.3 CARACTERÍSTICAS DISTINTIVAS SEGÚN TIPO DE CUBIERTA.....	27
5.4 COMPONENTES.....	27
5.5 BENEFICIOS	30
5.5.1 MEDIOAMBIENTALES	30
5.5.2 ECONÓMICOS	33
5.5.3 SOCIALES	36
6 DESCRIPCIÓN Y PROCESO CONSTRUCTIVO DE UN MODELO DE CUBIERTA VEGETAL	38
6.1 FORMACIÓN DE PENDIENTES.....	38
6.2 IMPERMEABILIZACIÓN	40
6.3 CAPA SEPARADORA.....	42

6.4	AISLAMIENTO.....	43
6.5	CAPA SEPARADORA (ANTIPUNZONANTE).....	43
6.6	CAPA DRENANTE Y RETENEDORA	44
6.7	CAPA FILTRANTE Y ABSORBENTE.....	45
6.8	SUSTRATO	46
6.9	RIEGO.....	49
6.10	VEGETACIÓN	49
7	ESTUDIO Y CÁLCULO DE LA TRANSMITANCIA TÉRMICA	51
7.1	CUBIERTA VEGETAL.....	53
7.2	CUBIERTA PLANA INVERTIDA	55
7.2.1	NO TRANSITABLE CON PROTECCIÓN DE GRAVA	55
7.2.2	TRANSITABLE CON PAVIMENTO FIJO	58
7.2.3	NO TRANSITABLE CON PROTECCIÓN DE GRAVA Y AISLAMIENTO DE POLIURETANO	62
7.3	CUBIERTA INCLINADA CON ACABADO DE TEJA CURVA	64
7.4	COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	69
8	ESTUDIO ECONÓMICO	73
8.1	CUBIERTA VERDE.....	73
8.2	CUBIERTA PLANA INVERTIDA NO TRANSITABLE CON PROTECCIÓN DE GRAVA	75
8.3	CUBIERTA PLANA INVERTIDA TRANSITABLE CON PAVIMENTO FIJO ..	77
8.4	CUBIERTA INCLINADA CON ACABADO DE TEJA CURVA	78
8.5	COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	80
9	CONCLUSIONES	83
10	BIBLIOGRAFÍA	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 5.1. Cubierta verde en la Facultad de Derecho de la Universidad de Buenos Aires.	19
Fig. 5.2. Maeshowe, situado en Escocia, Reino Unido.	20
Fig. 5.3. Newgrange, situado en Irlanda.	20
Fig. 5.4. Jardines Colgantes de Babilonia.	21
Fig. 5.5. Sección del Palacio del emperador Tiberio en Roma.	22
Fig. 5.6. Cubierta vegetal tradicional en Noruega.	23
Fig. 5.7. Detalle constructivo cubierta Holzzementdach.	23
Fig. 5.8. Detalle constructivo cubierta de Eduard Rüber.	24
Fig. 5.9. Detalle constructivo cubierta de Karl Rabitz.	24
Fig. 5.10. Cubierta extensiva.	26
Fig. 5.11. Cubierta intensiva.	26
Fig. 5.12. Capas de una cubierta verde.	29
Fig. 5.13. Imagen tomada por una cámara termográfica de una cubierta ajardinada junto a una cubierta con acabado asfáltico.	31
Fig. 6.1. Formación de pendientes.	39
Fig. 6.2. Colocación y solape de la lámina de PVC.	41
Fig. 6.3. Colocación de refuerzos con piezas especiales de PVC en puntos singulares.	41
Fig. 6.4. Prueba de estanqueidad.	42
Fig. 6.5. Colocación capa separadora sobre lámina impermeable de PVC.	43
Fig. 6.6. Proceso constructivo de la cubierta situada en Gandía, hasta lámina antipunzonante.	44
Fig. 6.7. Proceso constructivo de la cubierta situada en Gandía. Colocación lámina drenante.	45
Fig. 6.8. Proceso constructivo de la cubierta situada en Gandía. Colocación lámina filtrante.	46
Fig. 6.9. Vista de todas las capas de la cubierta de tipo extensivo.	47
Fig. 6.10. Proceso constructivo de la cubierta situada en Gandía. Colocación del sustrato.	47
Fig. 6.11. Avance distribución del sustrato en cubierta extensiva situada en Gandía.	48
Fig. 6.12. Perímetro de la cubierta libre de sustrato.	48
Fig. 6.13. Acabado final cubierta extensiva situada en Gandía.	50
Fig. 6.14. Mobiliario instalado en la cubierta extensiva situada en Gandía.	50
Fig. 7.1. Sección cubierta sometida a estudio.	53
Fig. 7.2. Sección cubierta plana invertida con acabado de grava.	56

Fig. 7.3. Sección cubierta plana invertida con acabado de pavimento fijo.	59
Fig. 7.4. Sección cubierta inclinada con acabado de teja.	64
Fig. 7.5. Planta cubierta del edificio situado en Gandía.	65
Fig. 7.6. Sección del faldón de la cubierta inclinada teniendo como incógnita la altura.	66
Fig. 7.7. Sección del faldón de la cubierta inclinada teniendo como incógnita la hipotenusa.	66
Fig. 7.8. Resultados obtenidos para el mismo valor de espesor en el aislamiento térmico.	69
Fig. 7.9. Espesores necesarios para igualar la transmitancia térmica en cada tipo de cubierta.	71
Fig. 8.1. Presupuesto de la cubierta vegetal realizada en Gandía.	74
Fig. 8.2. Precios de los distintos tipos de cubierta según tipo y espesor de aislamiento.	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5.1. Características distintivas según el tipo de cubierta.....	27
Tabla 7.1. Materiales, espesores y conductividad térmica de cada capa de la cubierta vegetal.....	54
Tabla 7.2. Valores de resistencia térmica para las capas de la cubierta vegetal.....	55
Tabla 7.3. Materiales, espesores y conductividad térmica de cada capa de la cubierta de grava.....	56
Tabla 7.4. Valores de resistencia térmica para las capas de la cubierta de grava.	57
Tabla 7.5. Materiales, espesores y conductividad térmica de cada capa de la cubierta con pavimento. .	59
Tabla 7.6. Valores de resistencia térmica para las capas de la cubierta con pavimento.	60
Tabla 7.7. Materiales, espesores y conductividad térmica de cada capa de la cubierta de grava con poliuretano.....	62
Tabla 7.8. Valores de resistencia térmica para las capas de la cubierta de grava con poliuretano.....	63
Tabla 7.9. Cuadro comparativo de transmitancias térmicas de las distintas tipologías de cubierta.	69
Tabla 7.10. Diferencia en porcentaje de las distintas transmitancias térmicas obtenidas para cada tipo de cubierta con la de la cubierta verde.	70
Tabla 7.11. Cuadro comparativo de las distintas tipologías de cubierta con misma transmitancia térmica.	71
Tabla 8.1. Precios unitarios descompuestos de cubierta con acabado de grava y 11 cm de XPS.....	75
Tabla 8.2. Precios unitarios descompuestos de cubierta con acabado de grava y 12 cm de XPS.....	75
Tabla 8.3. Precios unitarios descompuestos de cubierta con acabado de grava y 9 cm de PUR.	76
Tabla 8.4. Precios unitarios descompuestos de cubierta con pavimento fijo y 11 cm de XPS.	77
Tabla 8.5. Precios unitarios descompuestos de cubierta con pavimento fijo y 12 cm de XPS.	77
Tabla 8.6. Precios unitarios descompuestos de cubierta inclinada con teja y 16 cm de lana de roca.	78
Tabla 8.7. Precios unitarios descompuestos cubierta inclinada con teja y 10 cm de PUR proyectado..	79
Tabla 8.8. Precios de los distintos tipos de cubierta según tipo y espesor de aislamiento.	80
Tabla 8.9. Aumento en porcentaje del coste de cada tipo de cubierta con el de la cubierta verde.....	81

1 INTRODUCCIÓN

El crecimiento desproporcionado e irracional de la infraestructura urbana, ocasionada por el desarrollo humano, ha desencadenado pérdidas considerables de zonas verdes en las grandes ciudades, provocando una consecuente contaminación ambiental que, a medida que pasan los años, aumenta de manera desorbitada y descontrolada.

El aumento de la población, la industrialización y el tráfico en los cascos urbanos, propician, considerablemente, al aumento de la emisión de CO₂ a la atmósfera. Este gas, al tratarse de un gas de efecto invernadero, ayuda a absorber el calor proveniente del Sol, lo que conlleva al problema que habita en la sociedad actual: el cambio climático.

A partir de los cambios ambientales sufridos por esta causa, se han generado grandes iniciativas destinadas a proteger y preservar el medio ambiente. Es por ello que nace el desarrollo y la aplicación de sistemas que permiten la integración del medio ambiente natural en el proceso constructivo.

En la gran mayoría de construcciones, las cubiertas planas son espacios destinados a albergar todo tipo de instalaciones, ocasionando superficies útiles desaprovechadas casi en su totalidad. Esta condición de desuso ha propiciado a la implantación de vegetación en las cubiertas, lo que hoy en día se denomina como cubierta verde. Este tipo de sistema constructivo busca devolver a los habitantes de las grandes ciudades las pérdidas sufridas por la infraestructura urbana y consigue que los edificios sean más solidarios y respetuosos con el medioambiente.

En general, lo que se pretende conseguir, es crear edificios eficientes energéticamente, que sean capaces de disminuir los gases nocivos generados a la atmósfera y de aportar mayor calidad de vida a las ciudades, convirtiéndolas en lugares más naturales, limpios y estéticos para los habitantes que residen en ellas.

La utilización de cubiertas verdes como alternativa a las tradicionales aporta innumerables beneficios para la sociedad y el medioambiente, entre ellos la reducción de las emisiones de CO₂ a la atmósfera, el aumento del ahorro energético en las edificaciones y la creación de zonas verdes útiles de ocio.

En los últimos años, la implantación de las cubiertas verdes en los edificios ha experimentado un gran aumento, debido al conocimiento de los grandes beneficios que este sistema aporta al usuario y al entorno que la rodea. En mayor medida ha ocurrido en países

europeos como Francia, Suiza o Dinamarca, cuyos gobiernos han implantado leyes y medidas para fomentar el uso de esta tipología en edificios de nueva construcción.

Por otro lado, en España, esta iniciativa no ha alcanzado tanto interés por parte del usuario, lo que conlleva a pensar que esto podría ser debido a un alto coste en la ejecución de la misma si se compara con el de otros sistemas constructivos más convencionales.

Por ese motivo, se origina la necesidad de conocer y comparar los costes de ejecución de la cubierta vegetal con las distintas tipologías de cubiertas más convencionales. De esta manera, se comprobará si efectivamente este es el motivo de su escasa implantación en nuestro país o si, en cambio, el coste de ejecución puede sumarse a la larga lista de beneficios que este sistema aporta.

1.1 JUSTIFICACIÓN

A medida que pasan los años y el desarrollo humano aumenta, los cambios climáticos que nuestro hábitat sufre se hacen cada vez más importantes e incontrolables. La alta contaminación ambiental en la que se ven envueltas las grandes ciudades ha provocado, a lo largo de los últimos años, un alto índice de defunciones y enfermedades.

Según un artículo publicado en el periódico ‘La Vanguardia’ en el año 2017, los datos recopilados a través de un estudio realizado por la Carga Global de Enfermedad (GBD), en colaboración con ISGlobal, anuncian que la exposición a contaminantes ambientales provoca un mínimo de 21000 muertes al año en España, de las cuales al menos 15000 son atribuibles a la contaminación atmosférica. En junio de 2016, se realizó una investigación por parte de ISGlobal, la cual constataba que la ciudad de Barcelona podría posponer unas 3000 muertes prematuras cada año con una mejor planificación urbanística y del transporte.(Palou, 2017)

De esta preocupación, nace la necesidad de tomar medidas para combatir la contaminación del aire que afecta directamente a nuestra calidad de vida. Desde la arquitectura, se han propuesto gran variedad de medidas sostenibles capaces de minimizar los altos niveles de contaminación que existen en la atmósfera, entre ellas, el uso de vegetación en las cubiertas.

En diversos países europeos han tomado mayor consciencia sobre la implantación de esta medida sostenible, llegando a cubrir gran parte de sus cubiertas con vegetación e

incluso llegando a promover leyes y subvenciones para impulsar esta medida con el fin de mejorar el cambio climático. En cambio, en España, este hecho no ha cobrado tanta importancia, a pesar de los altos índices de contaminación que presentan ciudades como Madrid o Barcelona.

Por este motivo, se tiende a pensar que una posible causa de su escasa implantación sea un elevado coste en su proceso de ejecución. Tras esta incógnita, nace la idea de realizar el presente estudio, tanto para mentalizar y concienciar acerca de la gran cantidad de ventajas que aporta este sistema como para comprobar si verdaderamente el motivo de su reducida utilización puede ser debido a un elevado coste en su ejecución.

2 MARCO TEÓRICO

La construcción masiva de edificios y el aumento en la infraestructura urbana de las ciudades ha causado la destrucción de grandes superficies de zonas verdes, lo que ha conllevado a una clara degradación ambiental en el paisaje. Con el transcurso de los años, el interés público y privado por restaurar el medioambiente ha ido en aumento, desarrollándose sistemas sostenibles como es el uso de vegetación en la cubierta, lo que se denomina como cubierta verde. Una clara relación coste-beneficio de este tipo de sistemas, ayuda a la sociedad y al sector privado a impulsar su construcción, ya que las cubiertas verdes, a pesar de ser un sistema costoso, ofrece un gran número de beneficios a tener en cuenta.

En un artículo científico realizado por Carter & Keeler en el año 2008, se demuestran las ventajas del uso de cubiertas verdes desde un punto de vista económico. Este estudio utiliza datos extraídos de un modelo experimental de cubierta verde de tipo extensivo en área urbana para desarrollar un análisis de costo beneficio (ACB) de su ciclo de vida, comparándolo con datos extraídos de una cubierta tradicional. Según dicho estudio, la instalación de la cubierta verde actualmente oscila entre un 10-14% más caro que el de una cubierta convencional, sin embargo, si al valor actual neto (VAN) se le incluyen cuantitativamente los beneficios obtenidos por el rango de las aguas pluviales, la energía y la contaminación atmosférica que ofrece la cubierta verde, la instalación de esta obtiene un valor menor respecto al de las cubiertas convencionales.

No obstante, existen numerosas variables en las cubiertas verdes como son, el tipo de uso (transitable o no transitable), tipo de sistema (extensivo o intensivo), superficie, lugar de implantación, etc., que condicionan los resultados y conclusiones obtenidas en dichos análisis. Por este motivo, con este tipo de estudios no se permite obtener resultados exactos y fiables, pero sí se obtiene una aproximación de la viabilidad de estos sistemas.

Por otro lado, la cubierta verde ofrece una minimización en los costes de refrigeración de la vivienda, proporcionando un ahorro energético debido al gran aislamiento térmico que esta genera. Existen gran número de estudios realizados sobre ello, como es el realizado por Alpuche et al. en 2011. El cual demuestra, según mediciones y datos obtenidos a través de un modelo experimental de vivienda con la simulación de cubierta verde y otra con una cubierta con acabado de pavimento, que la cubierta verde aporta un ahorro energético del 16% sobre el consumo total.

Asimismo, en una publicación realizada en 2014 por EcoDiario, se expone un estudio realizado por la Escuela Técnica de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural de la Universidad Politécnica de Valencia, a través de su Departamento de Ingeniería Rural y Agroalimentaria, y la empresa Projar, el cual concluye que las cubiertas verdes tienen un gran potencial en climas como el Mediterráneo, ya que proporcionan un ahorro de entre el 20 y el 50% del consumo energético necesario para la refrigeración de un edificio.

Tras realizar el consecuente estudio, la empresa Projar expone que dicha investigación, aparte de los resultados obtenidos, ha destacado varios retos a los que hacer frente, entre ellos, analizar si el coste de la ejecución de este sistema es soportable para el usuario. Asimismo, alega que la cubierta ajardinada eleva el coste del proyecto, pero reduce considerablemente el consumo energético. A pesar de ser un sistema económicamente más caro en cuanto a su ejecución que otras soluciones constructivas, aporta numerosos beneficios, tanto económicos como sociales, que aumentan el fomento de la implantación de este tipo de sistemas en áreas masificadas por la infraestructura urbana. (Projar, 2014)

3 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

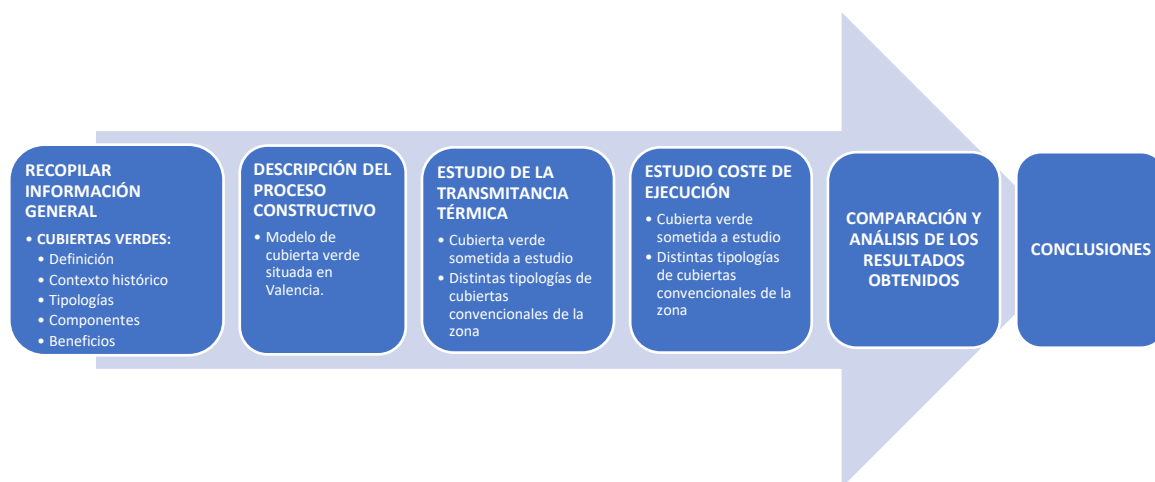
El objetivo general marcado en este TFG es realizar el estudio de la aplicación de los sistemas vegetales en las cubiertas de los edificios, analizando sus componentes, tipologías y beneficios que aportan a la ciudad y a la vida de los ciudadanos, profundizando en el tema económico mediante el análisis de viabilidad de estos sistemas a la hora de su construcción tanto en obra nueva como en la rehabilitación de una cubierta.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar las distintas tipologías de cubiertas vegetales, así como sus componentes.
- Identificar los beneficios que aporta la colocación de vegetación en las cubiertas de los edificios desde el punto de vista de la sostenibilidad y del medio ambiente para determinar su potencial de aplicación.
- Realizar la descripción del proceso constructivo de una cubierta vegetal.
- Calcular el valor de transmitancia térmica de una cubierta vegetal y comparar el resultado con otros sistemas constructivos convencionales de la zona, como son la cubierta plana invertida transitable, la cubierta no transitable con grava y la cubierta inclinada con acabado de teja.
- Realizar un estudio económico del coste de ejecución de las distintas tipologías de cubierta para determinar la viabilidad de la cubierta verde como una solución más a incorporar en las cubiertas de los edificios.

4 METODOLOGÍA

La metodología empleada para conseguir los objetivos marcados en este TFG se realiza con el desarrollo de las siguientes fases:



En primer lugar, se ha recopilado información general y primordial acerca del tema en cuestión, en este caso, las cubiertas verdes. Para ello se ha recabado información referente a su contexto histórico, definición, tipologías, componentes y todos los aspectos positivos que este sistema constructivo aporta al medioambiente y a la sociedad.

Seguidamente, se ha analizado y descrito el proceso constructivo de la cubierta verde, tomando de referencia una cubierta real situada en Gandía, ciudad situada en Valencia.

Posteriormente, se ha realizado el estudio de la transmitancia térmica de la cubierta sometida a estudio y de las distintas tipologías convencionales de la zona con el mismo espesor de aislamiento que el de la cubierta verde para comparar los resultados y someterlos a estudio.

Una vez conocido el valor de los distintos tipos de transmitancia térmica, se han igualado las transmitancias térmicas de las distintas soluciones de cubierta con la obtenida en la cubierta verde teniendo como incógnita el valor del espesor del aislamiento y calculándolo a igualdad de condiciones.

Conocido el espesor requerido en cada solución constructiva para igualar transmitancias térmicas con la cubierta verde, se ha estudiado el coste de ejecución de cada una de las soluciones propuestas.

Finalmente, se analizan todos los resultados obtenidos, estudiando la viabilidad o no de la ejecución de la cubierta verde en las obras de nueva construcción o rehabilitación de una cubierta y obteniendo unas conclusiones.

5 CUBIERTAS VEGETALES

5.1 DEFINICIÓN

Se entiende por cubierta vegetal, cubierta verde o cubierta ajardinada aquella que posee como capa exterior de protección un manto de sustrato vegetal que puede albergar gran cantidad de especies vegetales. La cubierta verde, también es conocida como cubierta ecológica, ya que se trata de una medida sostenible en la arquitectura que se utiliza para mejorar el medioambiente o ahorrar consumo de energía.



Fig. 5.1. Cubierta verde en la Facultad de Derecho de la Universidad de Buenos Aires.

Fuente: cubiertaverde.wordpress.com

5.2 CONTEXTO HISTÓRICO Y EVOLUCIÓN

Una primera apreciación, cuando se habla del concepto de cubierta verde, podría ser algo nuevo, innovador, que aparece en la arquitectura moderna como respuesta a la preocupación por el medioambiente y la sostenibilidad. Todo ello es cierto, pero, si se echa la vista atrás y se enfoca a cuáles son los orígenes de este tipo de sistemas, se puede observar que esta técnica de construcción se lleva utilizando desde hace bastantes siglos.

Según lo comentado por la arquitecta González en Urbanarbolismo, el primer vestigio hallado de cubierta vegetal se remonta a la prehistoria, en la época del Neolítico (3500 a.C.), y se trataba de construcciones funerarias, conocidas como Tumbas de Corredor. Éstas estaban formadas por un largo y estrecho pasillo levantado mediante bloques o losas de piedra, conformando de esta forma el zócalo del muro, y una o varias cámaras funerarias cubiertas de tierra. Al no tratarse de un lugar habitable, no se profundizaba en la impermeabilización y la cubierta era simplemente una base estructural de piedra sobre la cual se apoyaba la capa vegetal. Esta técnica era muy habitual en la Europa del Norte, siendo dos de los ejemplos más importantes Maeshowe, situado en Escocia, y Newgrange, situado en Irlanda.



Fig. 5.2. Maeshowe, situado en Escocia, Reino Unido.

Fuente: tripadvisor.com



Fig. 5.3. Newgrange, situado en Irlanda.

Fuente: maleteandovoy.wordpress.com

Otra de las teorías, según el ingeniero Awad (2014), es que la cubiertas verdes tuvieron su origen, concretamente en la Edad Antigua (600 a.C.), con los denominados ziggurats de Mesopotamia, que eran construcciones en forma de pirámide escalonada. Un ejemplo de ello fueron los Jardines Colgantes de Babilonia, una de las Siete Maravillas del Mundo Antiguo, de los cuáles no existen restos arqueológicos, pero su existencia es conocida

mediante documentos históricos. Gracias a estos escritos, pintores y artistas han realizado gran número de interpretaciones visuales de lo que en su día era dicho complejo. Estrabón, geógrafo griego, describía los jardines en el siglo I a.C. de esta forma:

“Éste consta de terrazas abovedadas alzadas unas sobre otras, que descansan sobre pilares cúbicos. Éstas son ahuecadas y rellenas con tierra para permitir la plantación de árboles de gran tamaño. Los pilares, las bóvedas, y las terrazas están construidas con ladrillo cocido y asfalto.”



Fig. 5.4. Jardines Colgantes de Babilonia.

Fuente: pinterest.es

Estos jardines plantados directamente sobre la estructura fueron denominados por la Antigua Roma como *Horti pensiles*. A diferencia de las cubiertas realizadas en la prehistoria, las cuáles no necesitaban de impermeabilización al tratarse de estancias no habitables, este complejo sí poseía estancias donde era preciso un cierto nivel de impermeabilización. Para ello, se construía sobre la estructura de piedra una capa gruesa de mortero compactada, denominada *cocciopesto*, que se realizaba mediante fragmentos de cerámica, arena y cal o piedra caliza finamente molida, y se caracterizaba por su impermeabilidad cuando endurecía. Uno de los ejemplos de la época donde se puede encontrar dicha solución es el Palacio del emperador Tiberio en Roma, construido mediante una estructura abovedada sobre la cual se apoya una capa de 33 cm de *cocciopesto* con una pendiente del 10%. Encima de ésta se disponían varios apoyos sobre los cuales venían apoyadas placas de cerámica, creando, de esta forma, una cámara de aire para mejorar la estanqueidad y prevenir que las raíces penetrasen y dañasen la estructura. Se podría afirmar que se trataba de un sistema constructivo bastante común en la Antigua Roma, ya que dicha

solución se ha encontrado en otras edificaciones, como son la Colina del Palatino y en las Termas de Trajano.

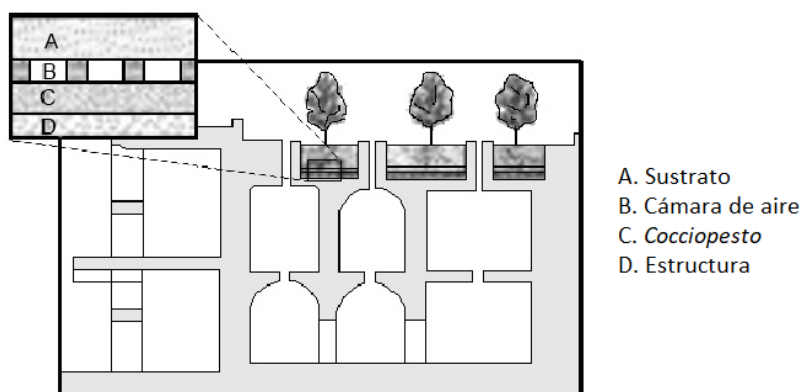


Fig. 5.5. Sección del Palacio del emperador Tiberio en Roma.

Fuente: publicado por Lorena González Ciller en www.urbanarbolismo.es

En la Edad Media, mayormente en la época vikinga, era muy habitual en los países del Norte de Europa la colocación de césped en las cubiertas, ya que esto aportaba a la vivienda un mayor acondicionamiento térmico interior. Gracias al estudio de las distintas tipologías de cubierta de la época, se han encontrado similitudes entre ellas que reflejan soluciones válidas en la actualidad, por lo que son consideradas como el prototipo de las cubiertas vegetales conocidas hoy en día.

En los Países Escandinavos, como es Noruega, era común realizar la estructura mediante madera y, para evitar que ésta se pudriera, optaron por las cubiertas de césped, que además les aportaba un mayor aislamiento y minimizaba daños debidos a las fuertes lluvias. La cubierta se realizaba con tablones de madera dispuestos en una pendiente que estuviese comprendida entre 22-44°, ya que un ángulo superior propiciaba al deslizamiento de las capas superiores y un ángulo inferior minimizaba la eficacia de la evacuación del agua. Sobre la estructura de madera se colocaba, de manera solapada, corteza de abedul, material abundante en la zona y bastante impermeable, sirviendo, por tanto, de impermeabilización a la cubierta. Como no disfrutaban de aislantes naturales, tenían que ingeniárselas para colocar un aislamiento térmico y, para ello, colocaban una capa de tepe vegetal hacia abajo, es decir, dejando las raíces arriba y las hojas abajo, consiguiendo, de esta forma, que éstas últimas se secasen y quedase una broza vegetal llena de aire. Por último, colocaban sobre esta capa otra capa de tepe vegetal, pero esta vez hacia arriba para proteger la capa anterior. (Neila, 2013)



Fig. 5.6. Cubierta vegetal tradicional en Noruega.

Fuente: foto publicada por Javier Neila en www.sostenibilidadjavierneila.blogspot.com.es

Más adelante, los colonos de principios del siglo XIX importaron este tipo de cubiertas a Canadá y al norte de los Estados Unidos.

En la Alemania del siglo XIX, se encuentra el desarrollo de las cubiertas vegetales tal y como las conocemos hoy en día. En el año 1839, surgió una cubierta como respuesta a la mejora del aislamiento y la resistencia frente al fuego. Esta cubierta era denominada Holzzementdach (techo de cemento-madera) y se puso en práctica gracias a Samuel Häuslen. Su estructura base estaba realizada mediante madera, con una pendiente comprendida entre el 5-10%, y sobre la misma iba la impermeabilización realizada mediante cuatro capas de papel impregnado de una mezcla de alquitrán, asfalto y azufre. Sobre ésta, se colocaba un sustrato de 15 mm de arena y 60-100 mm de grava mezclada con arcilla arenosa. En esta última, la vegetación crecía de forma natural propiciando a evitar la erosión y gracias a las propiedades tóxicas del alquitrán las raíces se mantenían alejadas sin penetrar en la impermeabilización.

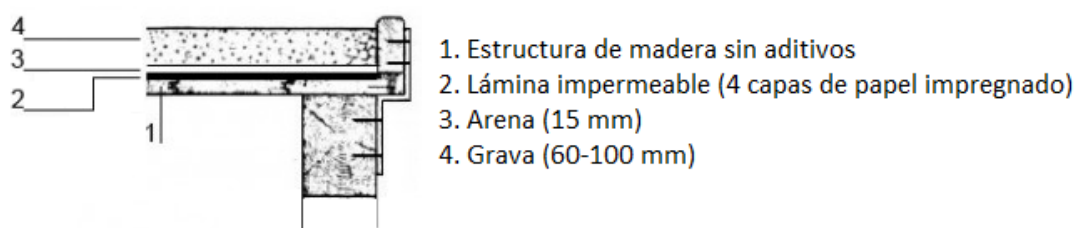


Fig. 5.7. Detalle constructivo cubierta Holzzementdach.

Fuente: dibujo publicado por Lorena González Ciller en www.urbanarbolismo.es

En el año 1860, Eduard Rüber propuso que la madera fuese impregnada con aceite de alquitrán y después con cenizas, buscando protegerla de la humedad y mejorando el grado de impermeabilización. Sobre ello, iban cuatro capas de papel impregnado de alquitrán, una capa de arena y por último una de sustrato de 15 cm de espesor.

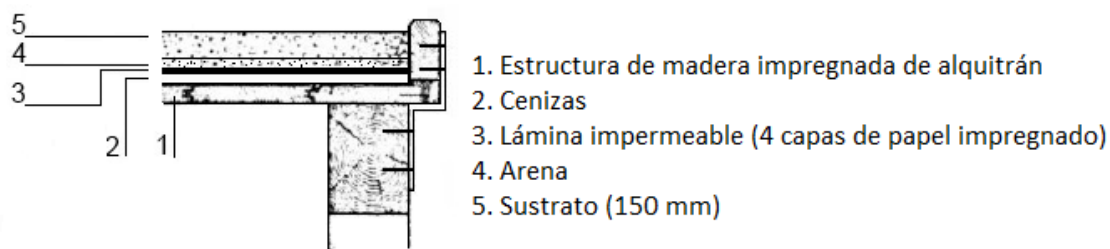


Fig. 5.8. Detalle constructivo cubierta de Eduard Rüber.

Fuente: dibujo publicado por Lorena González Ciller en www.urbanarbolismo.es

En 1867, Karl Rabitz publicó el desarrollo de un sistema formado por tablonces de madera y por tres capas de alquitrán recubiertas de cemento volcánico, el cual estaba compuesto por cemento Portland y aditivos hidráulicos, mayormente toba volcánica triturada, consiguiendo una mayor estanqueidad y resistencia del sistema. Por último, se colocaba una capa de arena arcillosa y una capa final de sustrato en la que podía cultivarse cualquier tipo de plantación.

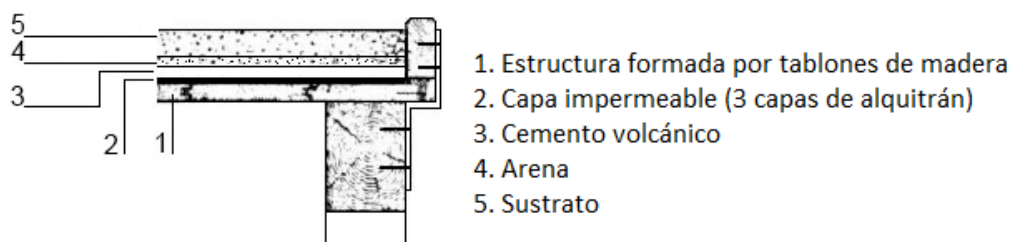


Fig. 5.9. Detalle constructivo cubierta de Karl Rabitz.

Fuente: dibujo publicado por Lorena González Ciller en www.urbanarbolismo.es

Los sistemas descritos con anterioridad tienen gran número de similitudes, pero se desconoce si existía algún tipo de relación entre los autores. Lo cierto es que, estos sistemas surgieron debido al aumento en la demanda de nuevas edificaciones para albergar a los inmigrantes que llegaban a trabajar a las nuevas fábricas. Por ello, se optó por la construcción de edificios en altura con cubiertas planas, de manera que se aprovechara al máximo las superficies. Esta tipología de cubierta proporcionaba una disminución de los costes, una mayor durabilidad y una gran resistencia al fuego.

A principios del siglo XX, algunos arquitectos decidieron implantar este tipo de sistemas en sus proyectos. Entre ellos se encuentra el arquitecto Raymond Hood, quién construyó, en el año 1939, el tan conocido y famoso edificio de las calles de Nueva York (Estados Unidos), que hoy en día todavía se mantiene: el Rockefeller Center. Pero no será hasta mediados del siglo XX, cuando se inicie el estudio más exhaustivo sobre la ecología de este tipo de sistemas, gracias al botánico de la Universidad de Berlín, Reinhard Bornkamm. A partir de este momento, las cubiertas vegetales comienzan a extenderse por

toda Alemania, cobrando una mayor importancia gracias a la gran cantidad de beneficios que ofrecían al medioambiente.

En 1989 ya se registraba 1 millón de metros cuadrados de cubierta vegetal en toda Alemania, llegando a alcanzar los 10 millones de metros cuadrados en 1996. En otros países de la Unión Europea y del resto del mundo, como son Canadá y EEUU, también comenzaron a impulsar este tipo de sistema en sus edificaciones para combatir con la contaminación en las áreas con mayor densidad de población.

Hoy en día, muchas de las ciudades de América y Europa, como por ejemplo Toronto y Copenhague, han creado leyes que obligan a la instalación de este tipo de cubierta en los edificios de nueva construcción, buscando la oxigenación del ambiente y un ahorro en el consumo energético.

5.3 CLASIFICACIÓN

La cubierta ajardinada se clasifica, generalmente, según el espesor de la capa de sustrato en dos categorías: extensivas e intensivas. Cada uno de estos tipos determina la vegetación a instalar, el peso, el coste y la regularidad de mantenimiento.

5.3.1 CUBIERTA EXTENSIVA O ECOLÓGICA

Este tipo de cubierta posee una capa vegetal de pocos centímetros (< 15 cm), por lo que se trata del sistema más ligero. La vegetación que pueden albergar estas cubiertas son especies vegetales de raíces poco profundas y que necesitan de un bajo aporte de agua y nutrientes, pudiendo abastecerse de los mismos mediante procesos naturales. Generalmente, suelen utilizarse plantas autóctonas para que se adapten al medio y a la climatología del entorno. Entre ellas se encuentran especies de sedum, hierbas, flores silvestres y cualquier otra especie que necesite poco o ningún mantenimiento. Las más utilizadas suelen ser las de tipo sedum, ya que son plantas que almacenan agua en su interior, siendo resistentes a la sequía y al fuego, se regeneran fácilmente y tienen raíces no invasivas. Según la precipitación de la zona, necesitará o no sistema de riego. No suelen ser cubiertas transitables, pero sí accesibles para su mantenimiento, el cual puede limitarse a dos o tres visitas de inspección y control al año.



Fig. 5.10. Cubierta extensiva

Fuente: singulargreen.com

5.3.2 CUBIERTA INTENSIVA O JARDÍN

Este tipo de cubierta posee una capa de sustrato de mayor espesor (≥ 15 cm, llegando a alcanzar incluso los 100 cm). Este sistema puede albergar mayor variedad de especies vegetales, siendo capaz de cultivar en ellas especies vegetales de mayor envergadura, como árboles y arbustos. Son utilizadas, mayoritariamente, como un jardín convencional, por lo que se tratan de cubiertas transitables. Este tipo de sistema es más pesado y costoso que el anterior, ya que necesitan de un mayor y continuo mantenimiento, siendo necesario, además, incluir en ellos un sistema de riego. Además, se deberá de tener en consideración el dimensionamiento de la estructura, ya que ésta deberá soportar cargas muy elevadas.



Fig. 5.11. Cubierta intensiva

Fuente: zinco-cubiertas-ecologicas.es

5.3.3 CARACTERÍSTICAS DISTINTIVAS SEGÚN TIPO DE CUBIERTA

	Extensiva	Intensiva
Vegetación	Sedum, césped, hierbas aromáticas, flores silvestres	Césped, arbustos, árboles
Espesor sustrato	5 - 15 cm	≥ 15 cm
Riego y nutrición	Por procesos naturales*	Aporte continuo
Peso	50 – 150 kg/m ²	150 – 500 kg/m ²
Accesibilidad	Visitable	Transitable
Capacidad de carga	Normal	Estructura más resistente
Mantenimiento	Bajo	Alto
Pendiente cubierta	Hasta 45°	Plana o en bacanales

Tabla 5.1. Características distintivas según el tipo de cubierta.

Fuente: elaboración propia basada en www.urbanscape.es.

*En función del clima de la zona geográfica en la que se encuentre la cubierta. Si se trata de climas secos, será necesario la colocación de un sistema de riego por aspersión o goteo.

5.4 COMPONENTES

Una cubierta verde se constituye principalmente de las siguientes capas, aunque éstas pueden variar según la solución aportada, ya que algunas de ellas pueden llegar a unificarse o incluso no colocarse:

- 1) Soporte resistente: es el elemento de la estructura que actúa de base principal y sustentador de la cubierta. Éste debe estar calculado de tal forma que soporte el peso de la cubierta, especialmente, la carga del sustrato y las especies vegetales que vayan a instalarse.
- 2) Formación de pendientes: capa que genera la pendiente de la cubierta para facilitar la evacuación del agua. Suele estar constituida por hormigón aireado y aligerado para crear la menor carga posible y mejorar el aislamiento térmico. Sobre ella se extiende una capa de regulación, realizada mediante mortero de cemento fratasado,

lo que le proporciona una superficie regular y lisa para el apoyo de la lámina impermeable.

- 3) Lámina impermeable: capa formada por materiales bituminosos o sintéticos, que impide la penetración del agua y garantiza la estanqueidad de esta. Debe poseer un tratamiento anti-raíces, de no ser así deberá de colocarse sobre la misma una capa antipunzonante para impedir que las raíces de las especies vegetales dañen la impermeabilización o incluso lleguen a dañar la estructura.
- 4) Aislamiento térmico: esta capa no suele colocarse, ya que el propio manto vegetal ya actúa como aislante térmico de la cubierta. Se suele colocar en las cubiertas extensivas, debido al poco espesor en la capa de sustrato.
- 5) Capa antipunzonante: de colocarse aislamiento, esta capa debe existir para proteger al aislamiento del contacto con las raíces.
- 6) Capa retenedora: esta capa es opcional, ya que dependerá de la cantidad de agua necesaria a aportar al manto vegetal. Suele estar formada por paneles sintéticos moldeados formando diferentes cavidades y canales que retienen el agua de riego o de lluvia excedente del manto vegetal, permitiendo su evacuación y evaporación de forma natural. Cuando se dispone de esta capa, no es necesario la colocación de capa drenante, ya que ésta misma realiza ambas funciones.
- 7) Capa drenante: su función es evacuar el agua excedente que filtra el sustrato evitando su acumulación y la posible pudrición de las raíces, conduciéndola hasta la lámina impermeable y, de ahí, que pueda ser encauzada, finalmente, a los sumideros. Suele ser del mismo material que el descrito en la capa retenedora.
- 8) Capa filtrante: se trata de un geotextil que retiene las partículas del sustrato y permite que pase el agua a través de él, evitando que las partículas más finas sean arrastradas por el agua de lluvia y riego y alcancen capas inferiores de la cubierta. De esta forma, el sustrato mantiene sus propiedades favoreciendo al crecimiento de las plantas. Suele ser de polipropileno.
- 9) Capa absorbente: Su función principal es retener agua a modo de esponja y liberarla paulatinamente, prolongando, de esta forma, la humedad de la cubierta. Esta capa es opcional y esencial para climas secos, ya que en estas zonas el principal problema es la rápida evaporación del agua. La lámina filtrante puede poseer la capacidad de ser absorbente, por lo que esta capa se suprimiría.

- 10) Sustrato: manto de tierra sobre el que se establece la vegetación. Para la elección del tipo de sustrato es necesario conocer el tipo de vegetación a instalar en la cubierta, ya que ésta requerirá de una acidez, nutrientes y espesor determinados.
- 11) Vegetación: es la capa final de la cubierta y la más delicada, ya que queda en contacto con el medioambiente, y depende de ella el correcto funcionamiento del sistema. Para la elección de la vegetación a utilizar, se tendrá que tener en cuenta el clima en el que se encuentra, solándose utilizar especies autóctonas para que éstas se adapten al medio.

A continuación, se adjunta la Fig. 5.12 con la distribución detallada de las capas que componen la cubierta.

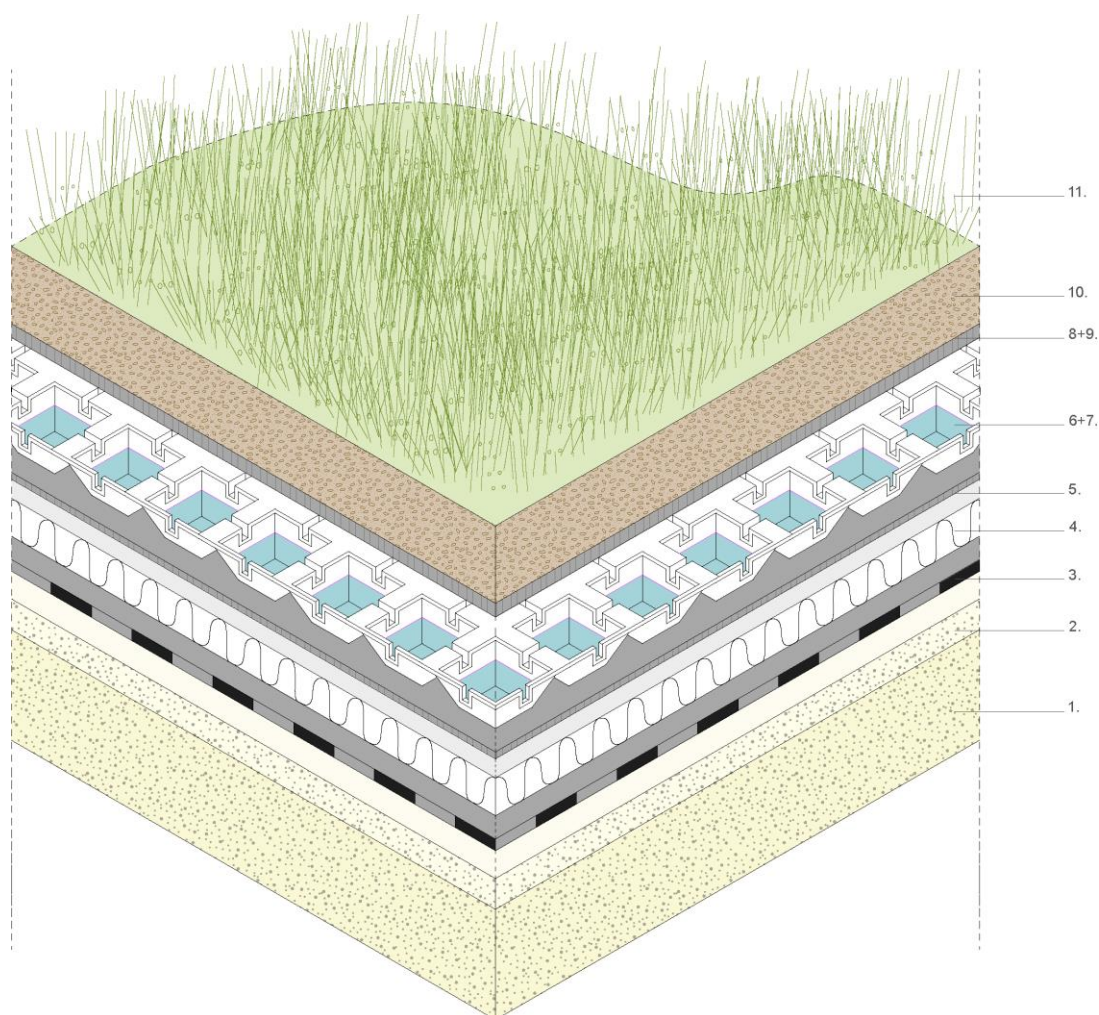


Fig. 5.12. Capas de una cubierta verde.

Fuente: Elaboración propia.

5.5 BENEFICIOS

Las cubiertas vegetales proporcionan una gran cantidad de beneficios, los cuáles podemos dividir en tres apartados:

- Beneficios medioambientales
- Beneficios económicos
- Beneficios sociales

5.5.1 MEDIOAMBIENTALES

a) Reducción del efecto isla de calor urbana.

El efecto isla de calor urbana es el aumento de la temperatura ambiente promedio en zonas urbanas, siendo en ellas más elevada que en las zonas rurales. La densidad de edificación y población de una zona determinada contribuye a un aumento en la temperatura ambiente, ya que los contaminantes presentes en la atmósfera y los propios materiales de los edificios retienen y almacenan el calor proporcionado por la radiación solar y lo desprenden lentamente a lo largo de la noche. Esto ocurre al sustituir la vegetación natural por pavimentos, edificios y otras estructuras construidas con materiales que no regulan las temperaturas como lo hacen los materiales naturales.

Las plantas absorben la mayor parte de la energía recibida del sol: el 2% es usado para la fotosíntesis, 48% pasa a través de las hojas y es almacenado en la planta, 35% es transformado en calor usado para la transpiración y solo el 20% es reflejado (Ibáñez, 2008). Por lo que, de no existir dicha vegetación, toda esa energía no consumida sería transformada en calor ambiente, aumentando de esta forma el efecto isla de calor urbana.

Por otro lado, la cubierta verde mejora los procesos naturales de enfriamiento ambiental mediante el proceso conocido como transpiración, ya que las plantas absorben la humedad de la tierra y la expulsan en forma de vapor de agua.

Durante el verano, las temperaturas de las ciudades se sitúan entre 5-7° por encima de las zonas rurales, debido a la absorción de calor de los edificios y de las calles. De hecho, la temperatura de una cubierta tradicional puede ser hasta 40°C más elevada que la de una cubierta vegetal. (Knaufinsulation, s.f.)

La Agencia Ambiental de Canadá llevo a cabo un estudio donde concluyó que plantando al menos un 6% (6,5 millones de metros cuadrados) de la superficie de las cubiertas de

Toronto se podría reducir de 1 a 2 °C la temperatura del ambiente en verano de la ciudad.
(Singulargreen, s.f.)



Fig. 5.13. Imagen tomada por una cámara termográfica de una cubierta ajardinada junto a una cubierta con acabado asfáltico.

Fuente: singulargreen.com

Gracias a todo ello, se genera una demanda menor de climatización en el interior de las viviendas, llevando a un aumento en el ahorro energético y, por lo tanto, menor contaminación para el medioambiente.

Por lo tanto, el mal clima en las zonas urbanas mejoraría considerablemente si se reducen las superficies pavimentadas y se sustituyen por zonas verdes, creando un clima más frío y agradable.

b) Retención y depuración de aguas pluviales.

La ampliación continua de las zonas urbanas en nuestros municipios disminuye considerablemente la permeabilidad del terreno, generando que el agua no filtre a través de los acabados de las calles y necesite de redes de alcantarillado que la evacuen.

En los días de fuertes precipitaciones, estos sistemas sufren desbordamientos, provocando inundaciones que conllevan a perjuicios económicos y sociales. Mayormente, esto es debido a la falta de previsión en la planificación de la red de drenaje. Si no se ha tenido en cuenta el aumento de urbanización provocado al realizar el cálculo de una red de drenaje, causará la incapacidad de esta para encauzar de manera normal el agua, provocando una sobrecarga en la red de alcantarillado. (Inarquía, 2017)

Las cubiertas vegetales pueden llegar a retener entre un 60-100% del agua de lluvia recibida, dependiendo del grosor de la capa de sustrato y de la porosidad de las especies cultivadas en ella. Parte de esa agua se almacena de manera temporal en el sustrato, otra es absorbida por las plantas y otra devuelta a la atmósfera mediante el proceso de

evapotranspiración. El agua no retenida es liberada de forma paulatina, lo que retarda la descarga de la lluvia al sistema de alcantarillado, estabilizando el nivel de aguas subterráneas. (López, 2010)

Gracias a ello, las cubiertas verdes reducen significativamente el volumen de escorrentía urbano, disminuyen la carga de los sistemas de alcantarillado y ayudan a minimizar inundaciones a causa de fuertes precipitaciones. Por otro lado, minimizan costes que serían dedicados a la construcción de equipos o sistemas de recogida y gestión del agua que, gracias a las cubiertas vegetales, vuelve a su ciclo mediante transpiración y evaporación.

Asimismo, las especies cultivadas y el sustrato filtran los contaminantes del agua de lluvia, reduciendo su nivel de toxinas. Por lo que, las cubiertas vegetales también tienen la capacidad de purificar el agua de lluvia. Según un estudio de Kohler & Schmidt (1990), el 95% del plomo, cobre y sulfuro de cadmio y el 19% del cinc que procede de las aguas pluviales se queda en el sustrato, lo que ayuda a mejorar la calidad del agua de la zona. (EcoHabitar, 2015)

c) Reducción del CO₂.

El CO₂ es considerado uno de los factores más influyentes del calentamiento global, por lo tanto, es importante considerar minimizarlo al máximo. Las plantas que habitan en las cubiertas vegetales consumen el CO₂ de la atmósfera y lo transforman en oxígeno mediante la fotosíntesis. La cantidad de CO₂ que sean capaces de absorber, dependerá del grosor del sustrato y la cantidad de plantación que habite en la cubierta.

Se estima que 1 m² de cubierta verde consigue absorber 5kgs de CO₂ al año, absorbiendo así más de 30 toneladas de CO₂ al año (Knaufinsulation, s.f.). Otro dato relevante es que 1 m² de cobertura vegetal genera el oxígeno requerido por una persona en todo el año. (Suleng, 2016)

d) Mejora en la calidad del aire.

La industrialización y el tráfico, sobretudo en centros urbanos, produce una gran cantidad de contaminantes a la atmósfera que causan efectos graves a la salud. Según un artículo publicado en Cadena Ser por Javier Gregori en 2017, el nuevo informe de la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA), registraba que 31.000 personas mueren cada año en España debido a la contaminación que provocan, sobre todo los coches, en las grandes ciudades.

Según un artículo técnico realizado por Salas y Montero (2011), las plantas son eficaces depuradoras naturales de aire, ya que sus hojas tienen la capacidad de absorber del aire los elementos tóxicos volátiles, utilizándolos de nutrientes y convirtiéndolos en materia orgánica. Se estima que la concentración de plantas en un área correspondiente a un 2-5% del espacio arquitectónico, reduce hasta un 20% el polvo acumulado en superficies horizontales. Las partículas de polvo son adheridas a las hojas de las plantas debido a la humedad de las mismas y, posteriormente, son arrastradas por la lluvia hasta llegar a la capa de sustrato.

La vegetación que compone las cubiertas recogen las partículas del aire, tales como, polución urbana, metales pesados y compuestos orgánicos volátiles, favoreciendo la calidad del aire y la salud de los habitantes. Se estima que 1 m² de cobertura vegetal es capaz de atrapar 130 gramos de polvo por año. (Suleng, 2016)

e) Aumento de la biodiversidad.

Conforme aumenta la infraestructura urbana, se reducen los espacios verdes y vitales para el desarrollo natural de las especies. Las cubiertas verdes generan nuevos hábitats naturales para las plantas, las aves y los insectos, colaborando a la inclusión de estos espacios en las ciudades y promoviendo el desarrollo de estas especies en los lugares de donde no son originarios. Por ello, las cubiertas vegetales son una herramienta muy útil para compensar las pérdidas de áreas verdes sufridas en la zonas urbanas debido a la construcción de edificios.

En Alemania se ha descubierto que las cubiertas verdes se han convertido en nuevos hábitats que suministran alimento para los pájaros y son lugares donde anidan algunas especies de alondras (Ibáñez, 2008).

5.5.2 ECONÓMICOS

a) Reducción de los costes de reparación y mantenimiento.

La membrana impermeabilizante es el punto débil de la cubierta, ya que, si ésta se deteriora, la cubierta perdería su función principal. Asimismo, la durabilidad de la impermeabilización es limitada, debido a que ésta se ve expuesta a las inclemencias del tiempo, los cambios de temperatura y los procesos de descomposición química.

Las cubiertas verdes protegen la impermeabilización considerablemente, ya que la capa de sustrato y vegetación la aíslan de la radiación ultravioleta, las temperaturas extremas y los agentes externos. De esta forma, la vida útil de la lámina impermeable aumenta, prolongando así la de la cubierta y permitiendo, por tanto, una reducción en los costes de mantenimiento.

La vida útil de una cubierta verde puede extenderse a 40 años o al doble que la de una cubierta tradicional (Ibáñez, 2008). Esto último es debido a las diferencias con respecto al calentamiento superficial de ambas cubiertas, ya que una cubierta de grava puede llegar a alcanzar los 60°C, mientras que en las cubiertas ajardinadas la temperatura no sobrepasa los 35°C. (ZinCo Green Roof Systems, s.f.)

b) Ahorro energético.

Cómo se ha redactado con anterioridad, la temperatura que alcanza una cubierta vegetal es bastante reducida en comparación a una cubierta convencional, debido entre otras cosas, a la transpiración y al elevado porcentaje de reflexión que realiza la vegetación. Todo ello, se intensifica gracias a la sombra que proporciona la vegetación sobre la cubierta, la gran capacidad de almacenamiento de calor del agua que poseen las plantas y el sustrato, y la protección frente al viento en la superficie de la cubierta, impidiendo la transferencia de calor por convección. (Singulargreen, s.f.)

Por este motivo, en las zonas calurosas o los días calurosos de verano, la cubierta acumula menos calor, transfiriendo menos calor al edificio, manteniéndolo fresco y demandando, por tanto, menos aire acondicionado.

En el año 2013, fue publicada una investigación realizada por Olivieri et al., la cual demostraba, a través de datos extraídos de un modelo experimental de cubierta vegetal de tipo extensivo localizada en la costa mediterránea, que cuando la densidad de la vegetación de la cubierta es elevada el calor entrante en el edificio a través de la cubierta es de un 60% inferior al calor que entra cuando no existe vegetación.

Por otro lado, en el mismo año, fue publicado un artículo en el periódico ‘El País’, en el cual se describía como el ingeniero Aitor Erkoreka, profesor e investigador de la Universidad del País Vasco, demuestra que las cubiertas vegetales situadas en lugares de veranos muy calurosos son idóneas para reducir el consumo energético del edificio. Para que esto sea efectivo, es imprescindible un adecuado sistema de riego según afirma Erkoreka: *“Hemos observado que en lugares muy soleados y sin lluvia la cubierta verde se seca totalmente en ocho días a no ser que se riegue. Y en ese caso no sirve para nada. Es*

más, las plantas y la tierra absorben mejor la radiación solar que la grava, por lo que aumenta la necesidad de sistemas de refrigeración".

El tema principal de su tesis fue comparar el comportamiento térmico e higroscópico de las cubiertas vegetales y el de las de grava. Como resultado de dicha investigación, obtuvo que, para proteger el interior de las viviendas del calor exterior en lugares muy soleados, la cubierta vegetal era más efectiva que el aislamiento tradicional. Según Erkoreka, esto es debido a la evapotranspiración de las plantas, ya que éstas absorben y aprovechan la energía solar para la realización de la fotosíntesis, mientras que, si estas no existiesen, toda esa energía solar no absorbida, sería transmitida al interior del edificio. Los datos muestran una reducción de un 75% del calor transmitido al edificio a través de la cubierta.

Una vez medido el coste del riego, se concluyó que se ahorra más en el consumo del sistema de refrigeración que en lo que se gasta con el regadío.

Asimismo, éste afirmaba que las plantas no sirven para reducir el consumo energético en inviernos fríos y húmedos, ya que la tierra suele estar húmeda a causa de las lluvias y eso hace que la superficie exterior del tejado sea más fría, por lo que la pérdida de calor es mayor. Por este motivo, se recomienda el uso de cubiertas vegetales en lugares de inviernos templados y bastante secos.

Gracias a la gran cantidad de resultados obtenidos por diversos estudios, se puede apreciar claramente como con una cubierta vegetal aumenta de manera considerable el aislamiento térmico del edificio, debido a su baja transmitancia térmica, aumentando, de esta forma, el ahorro energético frente al uso de las instalaciones de climatización en el interior del edificio. (Singulargreen, s.f.)

Además, la eficacia de los paneles solares aumenta si se colocan en dichas cubiertas. Gracias al acabado vegetal de la cubierta, el cual reduce la temperatura superficial de la misma, los paneles solares captan mayor energía solar y éstos a su vez aportan a la cubierta más áreas de sombra. Este hecho genera un mayor ahorro energético y, por lo consiguiente, una reducción en los costes. (Ecohabitar, 2015)

c) Mayor confort acústico.

La combinación de plantas, sustrato y aire acumulado en el interior de las capas de la cubierta verde, le ofrecen un gran aislamiento acústico.

Las plantas absorben el ruido transformando la energía sonora en energía de movimiento y calórica. Además, reducen el ruido mediante reflexión y deflexión, lo que ocasiona que las ondas sonoras sean reflejadas o desviadas.

Por otro lado, el sustrato tiene mayor grado de absorción acústica que el de las plantas. Para un ángulo vertical de incidencia del sonido, la capa de plantas consigue una insignificante disminución del sonido de alta frecuencia, mientras que la capa de tierra, para un espesor de 12 cm, llega a reducir aproximadamente 40 dB, y para un espesor de 20 cm aproximadamente 46 dB. (Minke, s.f.)

En cuanto a la resonancia del sonido, las cubiertas verdes también ejercen un papel importante. Un estudio de investigación realizado por Dunnet & Kingsbury en 2004 en un aeropuerto de Frankfurt (Alemania), constató que con la colocación de un techo verde de 10 cm los niveles de ruido disminuían en 5 dB. Gracias a este hecho, las ciudades o los lugares donde existe mayor grado de ruido, como son los aeropuertos o las zonas de mayor industrialización y tráfico, disminuirían considerablemente su nivel de ruido aportando más paz y tranquilidad en las oficinas y casas, reduciendo el estrés provocado por el ruido urbano y creando entornos más agradables. (Sempergreen, s.f.)

d) Protección contra incendio.

La cubierta vegetal crea una barrera resistente al fuego, ya que las plantas contienen de forma natural un gran nivel de humedad y el sustrato también almacena gran cantidad de agua, consiguiendo ralentizar considerablemente la propagación del fuego.

5.5.3 SOCIALES

a) Espacio verde útil.

Debido al aumento de la infraestructura urbana, cada día más pronunciado, disminuyen las áreas verdes de recreo y ocio. La cubierta verde es una herramienta muy útil para generar espacios verdes perdidos, ya que el espacio desaprovechado de las cubiertas de los edificios puede ser utilizado para fines recreativos o de ocio.

Las cubiertas verdes transitables, mayormente suelen ser las cubiertas intensivas, se pueden diseñar como jardines comunitarios o como un espacio de ocio, fomentando así las relaciones sociales.

b) Agricultura urbana.

Las cubiertas vegetales dan la opción de aprovecharse como zona de cultivo para especies aromáticas, medicinales o incluso de hortalizas. Todo ello, dependerá de que tipo de cubierta se haya instalado, si extensiva o intensiva, del sustrato que requiera cada tipo de especie plantada y de la climatología donde se haya instalado la cubierta.

En Madrid, concretamente en la azotea del hotel Wellington, se encuentra uno de los huertos urbanos más extensos de todo el mundo. Posee 14 parcelas de cultivo en 300 metros cuadrados, en los que se cultivan 35 variedades de plantas ecológicas. (Mayor y Timón, 2017)

c) Aumenta la sensación de bienestar.

El verde da sensación de relajación y bienestar. Las zonas verdes contribuyen a reducir el estrés que generan las zonas urbanas, sobre todo por la calma que aporta tanto a nivel auditivo como visual. Se han realizado gran cantidad de estudios en los que se observan mejoras psicológicas entre los habitantes con mayor densidad de zonas verdes.

Un estudio británico revela que el acceso a áreas verdes es clave en la calidad de vida de las personas. La relación existente entre la calidad de vida y las áreas verdes está asociada a la felicidad y el bienestar personal. Uno de los autores principales del informe, Mathew White, del Centro Europeo para el Medio Ambiente y la Salud Humana de la Universidad de Exeter, explicó “existe evidencia que indica que las personas que viven cerca de espacios verdes están menos estresadas, y cuando están menos estresadas toman mejores decisiones y se comunican mejor con otros”. (ANSA, 2014)

6 DESCRIPCIÓN Y PROCESO CONSTRUCTIVO DE UN MODELO DE CUBIERTA VERDE

Para la descripción del proceso constructivo, se ha elegido como base explicativa una cubierta realizada en un edificio situado en Gandía. Se trata de una cubierta plana invertida vegetal de tipo extensiva, con algunas zonas parcialmente inclinadas. La cubierta invertida ofrece gran cantidad de ventajas, ya que la impermeabilización actúa como una barrera de vapor, evitando las condensaciones, y, asimismo, ésta queda protegida por el aislamiento.

En el caso de que se trate de una obra de nueva construcción, habrá que prever la sobrecarga que deberá soportar el forjado según el tipo de cubierta a instalar, ya que el peso vendrá influenciado por el espesor del sustrato y el tipo de vegetación que vaya a colocarse. Asimismo, si se tratase de una rehabilitación, el sustrato y la vegetación vendrían acotados por la capacidad de carga del forjado existente.

Las capas de la cubierta vegetal sometida a estudio, según su orden de colocación, han sido las siguientes:

- 1) Formación de pendientes.
- 2) Impermeabilización.
- 3) Capa separadora.
- 4) Aislamiento térmico.
- 5) Capa separadora (antipunzonante).
- 6) Capa drenante y retenedora.
- 7) Capa filtrante y absorbente.
- 8) Sustrato.
- 9) Riego.
- 10) Acabado vegetal.

Cabe destacar que a medida que se realiza la ejecución de la cubierta, hay que ir cargando de sustrato cada tramo que se va realizando, ya que dichas capas son bastante susceptibles a las acciones del viento, por lo que podrían volarse.

6.1 FORMACIÓN DE PENDIENTES

Esta parte es la primera que se realiza sobre el soporte resistente (forjado). Su función es generar la pendiente de la cubierta para la correcta evacuación del agua y sirve de soporte para la impermeabilización. Está compuesta por unas maestras realizadas con ladrillos

cerámicos, un material de relleno realizado mediante hormigón celular y una capa de regularización realizada mediante mortero de cemento. Asimismo, su espesor debe estar comprendido entre 2 y 30 cm.

EJECUCIÓN:

1. Limpieza de la superficie.

Se prepara la superficie del forjado, de manera que éste debe quedar limpio y libre de obstáculos.

2. Replanteo y ejecución de las maestras.

Se delimitan las juntas de dilatación existentes en la cubierta, tanto las del edificio como las propias de la cubierta (perimetrales, encuentros con elementos verticales y formación de paños), siendo la distancia máxima entre juntas de dilatación contiguas de 15 m. Está delimitación se realiza mediante dos maestras separadas entre sí 3 cm como mínimo y entre ellas se coloca un material que permita su movimiento, como es el poliestireno expandido.

Por otro lado, se realiza la delimitación de los paños de la cubierta, es decir, las limatesas junto a las limahoyas, las cuales conforman la pendiente de los paños. Ambas se realizan mediante una maestra y la pendiente debe estar comprendida entre un 1 y un 5 % de inclinación, no debiendo superar los 50 m² por paño.

3. Vertido del material de relleno para formar la pendiente.

Se realiza el vertido del hormigón celular mediante bombeo hasta nivelarlo con las limatesas y limahoyas.



Fig. 6.1. Formación de pendientes.

Fuente: impersotanoslevante.es

4. Capa de regularización.

Sobre el hormigón celular se extiende una capa de mortero de cemento, con un espesor comprendido entre 1,5 y 2 cm, para conseguir una superficie final lisa, regularizada y uniforme, que servirá de base a la impermeabilización.

6.2 IMPERMEABILIZACIÓN

Esta capa es la encargada de beneficiar a la cubierta de una estanqueidad total, por lo que se deberá prestar especial atención a la impermeabilización en los puntos singulares de la cubierta, ya que son los puntos más conflictivos por los que se producen las filtraciones. Esta capa debe ser resistente a microorganismos y a la penetración de las raíces.

Existen muchos tipos de impermeabilización, desde bicapa con láminas bituminosas hasta la colocación de láminas sintéticas con tratamientos anti-raíces. En este caso, se describe la impermeabilización realizada mediante una lámina de PVC reforzada con fibra de vidrio de 1,2 mm de espesor. Este tipo de lámina lleva inclusive el tratamiento anti-raíces, y se trata del más económico del mercado.

EJECUCIÓN:

1. Colocación perfil acero galvanizado en todo el perímetro.

Se coloca una pletina de acero galvanizado, revestida por una capa de PVC de igual calidad que la lámina, en todo el perímetro de la cubierta, torreón, petos, etc. Se sella mediante un cordón de silicona o masilla de poliuretano en su parte interior y va anclada al soporte mecánicamente mediante tacos.

2. Colocación faldón PVC en perímetro.

Se procede a la colocación de la lámina de PVC en todos los parámetros verticales y se fijan mediante soldadura con el soplete de calor al perfil de chapa de acero colocado.

3. Colocación lámina de PVC.

Se extiende la lámina de PVC por toda la superficie de la cubierta realizando solapes entre ellas de aproximadamente 8-10 cm como mínimo mediante soldadura térmica manual y la utilización de un rodillo de presión. La lámina también puede fijarse

mediante una máquina automática de soldadura térmica, en el caso de que se disponga de la misma.



Fig. 6.2. Colocación y solape de la lámina de PVC.

Fuente: singulargreen.com

4. Refuerzo de lámina en remates y puntos singulares.

Como se ha dicho con anterioridad, es muy importante prestar especial atención a los puntos singulares de la cubierta, ya que la correcta impermeabilización de estos puntos garantiza una buena estanqueidad de la misma. Los puntos más conflictivos son las esquinas y los encuentros con las evacuaciones, tanto horizontales como verticales. Éstos han sido reforzados mediante unas piezas especiales prefabricadas, las cuales son de fácil instalación y adherencia.



Fig. 6.3. Colocación de refuerzos con piezas especiales de PVC en puntos singulares.

Fuente: Manual instalación láminas PVC por IPAMA.

5. Prueba de estanqueidad.

Una vez finalizada la impermeabilización, se procede a realizar una prueba de estanqueidad para comprobar que no existe ningún tipo de filtración. Para ello, se sellan

los sumideros y los desagües y, posteriormente, se procede a llenar la cubierta de agua hasta cubrir toda la superficie. Se debe mantener el agua en la cubierta en un período de 48 horas para verificar su correcta estanqueidad.

Pasadas las 48 horas, se procede a vaciar el agua de la cubierta y se eliminan los sellados de los sumideros y desagües.



Fig. 6.4. Prueba de estanqueidad.

Fuente: Ferlaval SL

6.3 CAPA SEPARADORA

Esta capa se dispondrá en el caso de incompatibilidad de materiales entre la capa impermeabilizante y el aislamiento. La función de esta capa es proteger la lámina impermeable, ya que, de no colocarla, la durabilidad de la lámina podría verse perjudicada.

En este caso, como se trata de dos materiales sintéticos (PVC y XPS), podría producirse una migración de plásticos entre el aislamiento y la lámina de PVC, por lo que se procede a la colocación de la misma.



Fig. 6.5. Colocación capa separadora sobre lámina impermeable de PVC.

Fuente: Jordi Serramia (Arquitecto, fundador de SingularGreen)

6.4 AISLAMIENTO

Según las condiciones mínimas requeridas, la cubierta necesitará disponer de aislamiento o no. Mayormente, las cubiertas verdes de tipo intensivas no suelen necesitar de la colocación de un aislamiento, ya que el espesor de la capa vegetal les proporciona el aislamiento térmico requerido.

En el caso de requerir aislamiento, como el caso que concierne, se dispondrán paneles rígidos de poliestireno extruido (XPS), cubriendo toda la superficie de la cubierta. Para esta cubierta, se han utilizado paneles con un espesor de 6 cm.

6.5 CAPA SEPARADORA (ANTIPUNZONANTE)

Esta capa sirve para evitar que las raíces de la vegetación puedan penetrar el aislamiento y dañarlo. Para ello se dispone sobre el mismo un geotextil no tejido de polipropileno que viene administrado en rollos.

A continuación, en la Fig. 6.6, se muestra el proceso constructivo de la cubierta situada en Gandía, desde la capa de impermeabilización de PVC hasta la capa antipunzonante.



Fig. 6.6. Proceso constructivo de la cubierta situada en Gandía, hasta lámina antipunzonante.

Fuente: Jordi Serramia (Arquitecto, fundador de SingularGreen)

6.6 CAPA DRENANTE Y RETENEDORA

Se trata de una lámina nodular de polietileno de alta densidad, la cual, gracias a su geometría, se encarga de almacenar el agua y de evacuar la sobrante. De esta forma, la cubierta aumenta su capacidad de retención y disminuye el aporte de agua que reciben los sumideros y desagües.

El funcionamiento de la lámina consiste en que cuando el agua sobrepasa el nivel de las cavidades formadas en ella para su almacenamiento, ésta se filtra por unos pequeños orificios que se encuentran en la parte superior de la lámina, de manera que el agua sobrante es evacuada.

El método de colocación de dicha lámina es idéntico al de la lámina antipunzonante, ya que viene suministrado en rollos y se despliega por toda la superficie.



Fig. 6.7. Proceso constructivo de la cubierta situada en Gandía. Colocación lámina drenante.

Fuente: Jordi Serramia (Arquitecto, fundador de SingularGreen)

6.7 CAPA FILTRANTE Y ABSORBENTE

Esta capa es la encargada de filtrar el agua sobrante del sustrato y tiene la capacidad, al ser absorbente, de retener agua. Por otro lado, tiene la función de evitar que la capa drenante pierda su función, ya que se encarga de retener los finos del sustrato, evitando que éstos obstruyan el sistema de drenaje. De esta forma, mantiene el medio de crecimiento de las plantas reteniendo los nutrientes.

Se trata de un geotextil no tejido de polipropileno, el cuál viene también suministrado en rollos y tiene el mismo método de colocación que las láminas antipunzonante y drenante.

Conforme se puede apreciar en la Fig. 6.8, a medida que se coloca la lámina filtrante, se ha de ir colocando materiales que ejerzan peso sobre ella para que ésta no se vea arrastrada por el viento. Lo más común es que se vaya lastrando con sustrato a medida que se va colocando dicha lámina.



Fig. 6.8. Proceso constructivo de la cubierta situada en Gandía. Colocación lámina filtrante.

Fuente: Jordi Serramia (Arquitecto, fundador de SingularGreen)

6.8 SUSTRATO

El sustrato está compuesto por materiales orgánicos e inorgánicos y sirve como medio de crecimiento y de anclaje de las plantas. La mezcla de componentes del sustrato vendrá dada por las necesidades de la vegetación, tanto por la capacidad de retención del agua necesaria como por los nutrientes necesarios para su adecuado crecimiento.

A la hora de utilizar determinados materiales para el sustrato, se prestará especial atención a la densidad de la mezcla, creando un sustrato poroso que aporte un correcto drenaje, aireación interna y el mínimo peso posible a la cubierta.

A continuación, la Fig. 6.9 muestra todas las capas descritas con anterioridad, desde la impermeabilización hasta el sustrato.



Fig. 6.9. Vista de todas las capas de la cubierta de tipo extensivo.

Fuente: Jordi Serramia (Arquitecto, fundador de SingularGreen)

El sustrato viene suministrado en formato a granel, a través de big-bags para facilitar su suministro al tratarse de trabajos en altura. El transporte de los big-bags hasta el punto de trabajo, se ha realizado mediante grúa telescópica con la que se contaba en la obra.

Como se ha descrito con anterioridad, el sustrato se va lastrando a medida que se va colocando la última capa anterior a esta (lámina filtrante), como puede apreciarse en la Fig. 6.10.



Fig. 6.10. Proceso constructivo de la cubierta situada en Gandía. Colocación del sustrato.

Fuente: Jordi Serramia (Arquitecto, fundador de SingularGreen)

El espesor del sustrato también vendrá dado por las necesidades de la vegetación a instalar y determinará el tipo de cubierta, si se trata de una cubierta de tipo extensiva o intensiva. La extensión del sustrato se realizará manualmente mediante la utilización de rastrillos.



Fig. 6.11. Avance distribución del sustrato en cubierta extensiva situada en Gandía.

Fuente: Jordi Serramia (Arquitecto, fundador de SingularGreen)

Se recomienda que el perímetro de la cubierta quede libre de sustrato y vegetación, y en su lugar, se coloque grava para aportar una mejora en la ventilación y aireación de las raíces de la vegetación. Asimismo, en los desagües y sumideros también es recomendable colocar grava a su alrededor para evitar que las raíces lleguen a dichos elementos.



Fig. 6.12. Perímetro de la cubierta libre de sustrato.

Fuente: Jordi Serramia (Arquitecto, fundador de SingularGreen)

6.9 RIEGO

Dependerá del tipo de vegetación o del clima en el que se encuentre, si es necesario un mantenimiento regular de riego y, por lo tanto, la colocación de un sistema de riego. En climas donde los veranos son bastante calurosos y secos, como el mediterráneo, es necesario la colocación de un sistema de riego que evite que la vegetación muera y pierda su función principal. En este caso, al encontrarse en una zona de clima cálido como es Gandía, se ha procedido a la colocación de un sistema de riego, concretamente, por aspersión.

6.10 VEGETACIÓN

La vegetación a utilizar viene determinada por la zona geográfica en la que se establece la cubierta y, por lo tanto, el clima al que va a verse expuesta.

Existen distintos métodos de implantación de la vegetación:

- Semillado
- Esquejes
- Plantas en bandeja
- Plantas en maceta
- Planta en alfombra o tepe

En la cubierta en cuestión, se han utilizado tres especies distintas de césped y se han implantado mediante semillado. Para ello, se distribuyen las semillas por toda la superficie y se dispersan con la ayuda de rastrillos.

Al cabo de unos meses, la vegetación ya ha crecido, apreciándose un acabado final como el de la Fig. 6.13.



Fig. 6.13. Acabado final cubierta extensiva situada en Gandía.

Fuente: Jordi Serramia (Arquitecto, fundador de SingularGreen)

Por otro lado, conforme se puede apreciar en la Fig. 6.14, se han dispuesto bloques de hormigón por la cubierta como mobiliario para fomentar que los usuarios la habiten y la utilicen de manera recreativa y de ocio, pudiendo sentarse en los mismos y disfrutar tranquilamente de esta área verde.



Fig. 6.14. Mobiliario instalado en la cubierta extensiva situada en Gandía.

Fuente: Jordi Serramia (Arquitecto, fundador de SingularGreen)

7 ESTUDIO Y CÁLCULO DE LA TRANSMITANCIA TÉRMICA

Según el CTE en su Documento Básico de Ahorro de Energía, se define la transmitancia térmica como el *“flujo de calor, en régimen estacionario, para un área y diferencia de temperaturas unitarias de los medios situados a cada lado del elemento que se considera”*, es decir, la transmitancia térmica se trata de una característica específica de un elemento constructivo, como es, en este caso la cubierta vegetal. Mediante la transmitancia térmica se determinan las pérdidas de calor que sufre el elemento constructivo sometido a estudio. Este dato depende de la conductividad térmica y del espesor de los materiales que la componen. Cuanto menor sea el valor de la transmitancia térmica, menor es el flujo de calor que se genera a través del elemento y, por consiguiente, mayor es su nivel de aislante térmico.

En la temporada de verano, se generan temperaturas más elevadas en el exterior que en el interior de la vivienda, por lo que todo ese calor exterior tiende a transmitirse al interior, generando una demanda de energía elevada en el uso de aire acondicionado. En cambio, en invierno pasa lo contrario, se generan temperaturas más bajas en el exterior que en el interior, por lo que todo ese calor interior se pierde, disminuyendo considerablemente el confort térmico, lo que conlleva a un mayor uso de sistemas de calefacción.

La cubierta es el elemento constructivo que mayores intercambios de calor experimenta, por ello se hace fundamental la búsqueda del valor de su transmitancia térmica, ya que reduciendo al máximo el valor de ésta, se consigue una mejora en el comportamiento energético de la cubierta que, posteriormente, se traduce en una reducción de la demanda de energía.

En este apartado, se realiza el cálculo de la transmitancia térmica de la solución de cubierta vegetal sometida a estudio, para posteriormente comparar dicho resultado con los de otros tipos de cubiertas convencionales utilizadas en la zona donde se ha ejecutado la cubierta vegetal, siendo las cubiertas seleccionadas las siguientes:

- a) Cubierta plana invertida no transitable con acabado de grava.
- b) Cubierta plana invertida transitable con pavimento fijo.
- c) Cubierta inclinada con acabado de teja curva.

A continuación, se detallan las fórmulas necesarias para realizar los cálculos pertinentes, los cuales aparecen en el Documento de Apoyo al Documento Básico: DA-DB-HE/1 - Cálculo de parámetros característicos de la envolvente.

Transmitancia térmica: $U \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)} = 1/R_T \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W)}$

Resistencia térmica total: $R_T \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W)} = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$, siendo;

$R_1, R_2 \dots R_n$: las resistencias térmicas de cada capa de la cubierta

R_{si} : resistencia térmica superficial del aire interior. $R_{si}=0,10 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

R_{se} : resistencia térmica superficial del aire exterior. $R_{se}=0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

(Los datos R_{si} y R_{se} , se obtienen de la tabla 1, según la posición del cerramiento y sentido del flujo de calor)

Resistencia térmica: $R \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W)} = e^{(m)} / \lambda \text{ (W/m} \cdot \text{K)}$

Previamente al cálculo, es necesario conocer el valor límite de transmitancia térmica que la cubierta no debe superar según la zona geográfica en la que ésta se encuentre. Este valor viene determinado en el CTE en el Documento Básico de Ahorro de Energía, concretamente en la sección del HE-1 ‘Limitación de la demanda energética’.

Para conseguir dicho valor, primeramente, se procede a obtener la zona climática en la que se encuentra la cubierta. En este caso, según el apéndice B en su tabla B.1. ‘Zonas climáticas’, al estar la cubierta localizada en una ciudad perteneciente a Valencia, le corresponde una zona climática B3. Partiendo de este punto, se aprecia en el apéndice D.2.7 ‘Zona climática B3’, un valor límite de transmitancia térmica en cubiertas de $0.45 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Por otro lado, en el apéndice E.2 ‘Parámetros característicos de la envolvente térmica’, se recomienda un valor orientativo de transmitancia térmica para cada elemento de la envolvente del edificio, de $0.33 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

7.1 CUBIERTA VERDE

Como se ha dicho con anterioridad, se procede al cálculo de la transmitancia térmica de la solución de la cubierta vegetal sometida a estudio. Antes de proceder al cálculo, se muestra en la Fig. 7.1 la composición de la cubierta para una mayor comprensión visual de la misma.

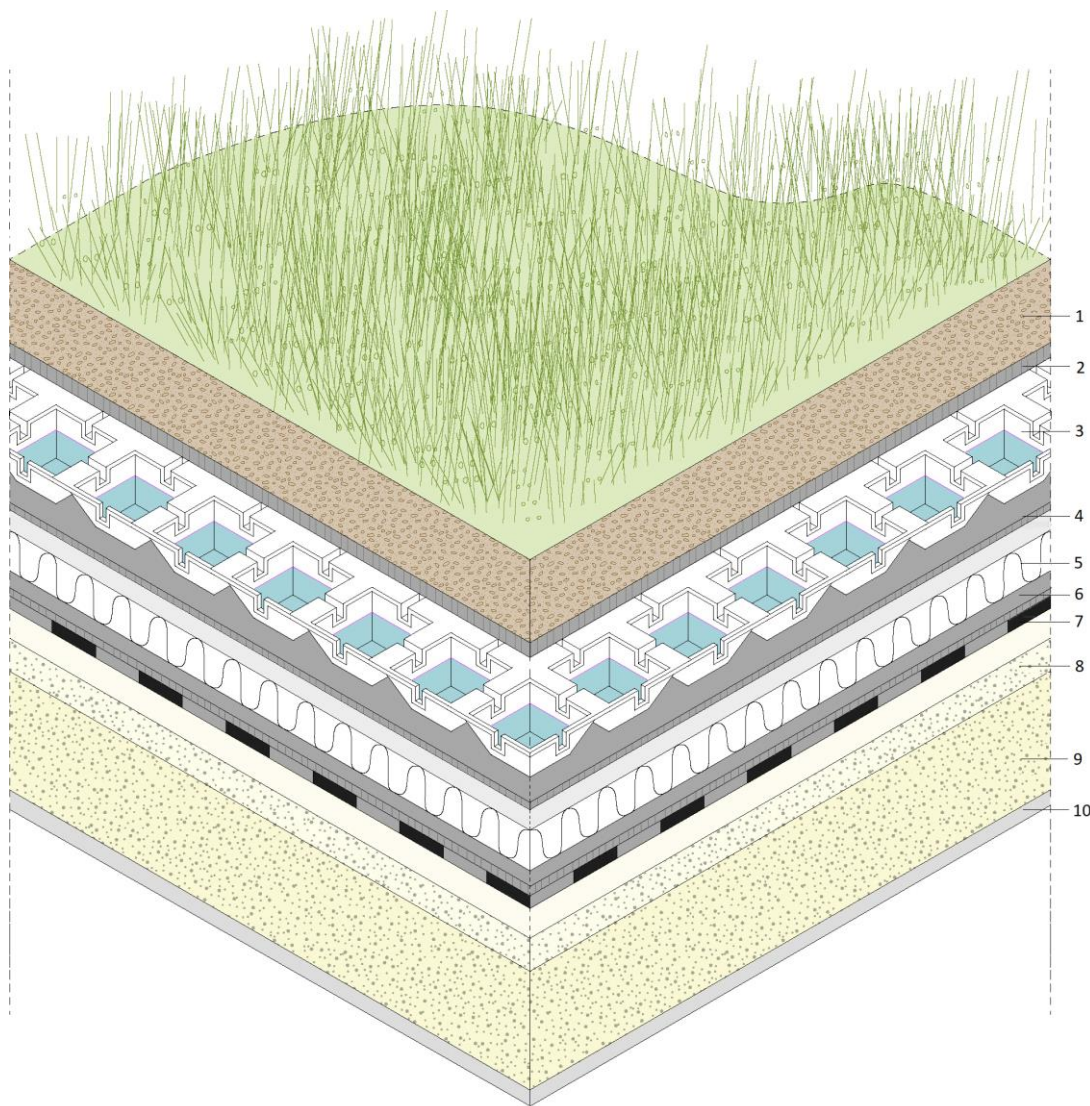


Fig. 7.1. Sección cubierta sometida a estudio.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en la Tabla 7.1 se detallan los materiales utilizados en cada una de las capas de la cubierta verde junto con sus espesores y conductividad térmica. Todos estos datos se han obtenido de la empresa Singulargreen, a través de las fichas técnicas de los materiales y del Catálogo de Elementos Constructivos del CTE. Asimismo, el valor de la conductividad térmica de la capa vegetal, se ha corroborado con el estudio realizado por

María V. Machado, Celina Britto y Javier Neila en el año 2003, en el cual se demuestra el cálculo de dicha conductividad mediante la utilización de datos experimentales.

CAPAS		MATERIALES	ESPESOR (mm)	λ (W/m·K)
1	VEGETAL	Sustrato compuesto por materia orgánica e inorgánica	150	0,12
2	FILTRANTE	Geotextil no tejido de polipropileno de 100 gr/m ²	0,6	0,05
3	DRENANTE	Lámina nodular de polietileno de alta densidad (EPDM)	20	0,16
4	CAPA SEPARADORA	Geotextil no tejido de polipropileno de 100 gr/m ²	0,6	0,05
5	AISLAMIENTO TÉRMICO	Poliestireno extruido (XPS)	60	0,034
6	CAPA SEPARADORA	Geotextil no tejido de poliéster de 200 gr/m ²	2,1	0,05
7	IMPERMEABILIZACIÓN	Lámina de PVC reforzado con fibra de vidrio	1,2	0,16
8	FORMACIÓN PENDIENTES	Hormigón ligero	110	0,19
9	FORJADO	Forjado unidireccional entrevigado de hormigón	300	-
10	ENLUCIDO	Enlucido de yeso	15	0,4

Tabla 7.1. Materiales, espesores y conductividad térmica de cada capa de la cubierta vegetal.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez conocidos los espesores y la conductividad térmica de cada material, se realiza el cálculo de la resistencia térmica de cada uno de ellos, para posteriormente calcular la transmitancia térmica del conjunto. Como se ha comentado con anterioridad, la resistencia térmica es el resultado de dividir el espesor (en metros) entre la conductividad térmica, siendo los resultados finales los que se muestran en la Tabla 7.2.

CAPAS		ESPESOR (m)	λ (W/m·K)	R (m ² ·K/W)
1	VEGETAL	0,15	0,12	1,25
2	FILTRANTE	0,0006	0,05	0,012
3	DRENANTE	0,02	0,16	0,125
4	CAPA SEPARADORA	0,0006	0,05	0,012
5	AISLAMIENTO XPS	0,06	0,034	1,8
6	CAPA SEPARADORA	0,0021	0,05	0,042
7	IMPERMEABILIZACIÓN	0,0012	0,16	0,0075
8	FORMACIÓN PENDIENTES	0,11	0,19	0,58
9	FORJADO	0,3	-	0,21
10	ENLUCIDO	0,015	0,4	0,038

Tabla 7.2. Valores de resistencia térmica para las capas de la cubierta vegetal.

Fuente: Elaboración propia.

Con todos los datos de resistencia obtenidos, se procede a calcular la resistencia térmica de todo el conjunto.

$$R_T = 0,04 + 1,25 + 0,012 + 0,125 + 0,012 + 1,8 + 0,042 + 0,0075 + 0,58 + 0,21 + 0,038 + 0,1 = 4,2165 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Por último, se calcula la transmitancia térmica de la cubierta, que es la inversa de la resistencia térmica.

$$U = 1/4,2165 = 0,237 \simeq 0,24 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Analizando el valor obtenido de transmitancia térmica, se comprueba como este valor es un 46,67% más bajo que el límite establecido por el CTE en su DB-HE de 0,45 W/m²·K y un 27,27% más bajo que el valor establecido como recomendado de 0,33 W/m²·K.

7.2 CUBIERTA PLANA INVERTIDA

7.2.1 NO TRANSITABLE CON PROTECCIÓN DE GRAVA

A continuación, se procede al cálculo de la transmitancia térmica de una de las tipologías de cubierta más habituales de la zona de Valencia, como es la cubierta plana invertida no transitable con protección de grava.

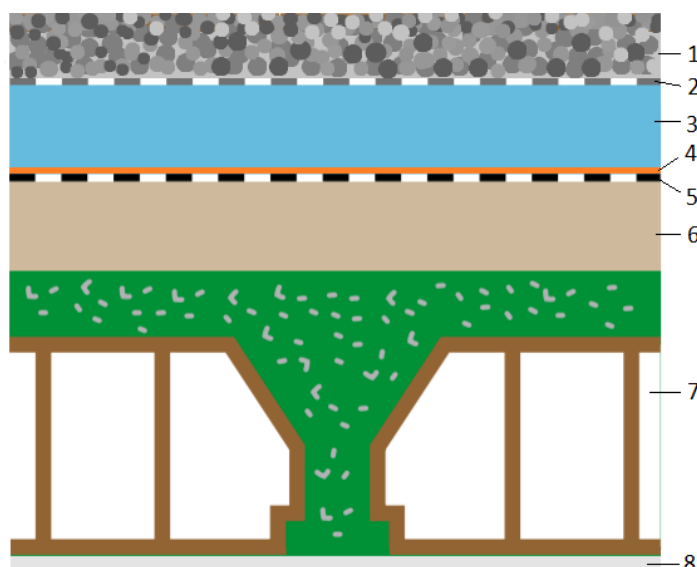


Fig. 7.2. Sección cubierta plana invertida con acabado de grava.

Fuente: Guía técnica para rehabilitación de la envolvente térmica de los edificios.

Primeramente, se realiza el cálculo con el mismo espesor de aislamiento que se ha colocado en la cubierta vegetal. La Tabla 7.3 muestra los materiales utilizados en cada una de las capas de la cubierta plana junto con los espesores y la conductividad térmica de cada material. Los datos se han obtenido de las fichas técnicas de los materiales y del Catálogo de Elementos Constructivos del CTE.

CAPAS		MATERIALES	ESPESOR (mm)	λ (W/m·K)
1	GRAVA	Grava de diámetro entre 16-32 mm	50	2,00
2	CAPA SEPARADORA	Geotextil no tejido de poliéster de 300 gr/m ²	2,6	0,05
3	AISLAMIENTO TÉRMICO	Poliestireno extruido (XPS)	60	0,034
4	CAPA SEPARADORA	Geotextil de poliéster de 200 gr/m ²	2,1	0,05
5	IMPERMEABILIZACIÓN	Lámina de PVC reforzado con fibra de vidrio	1,2	0,16
6	FORMACIÓN PENDIENTES	Hormigón ligero	110	0,19
7	FORJADO	Forjado unidireccional entrevigado de hormigón	300	-
8	ENLUCIDO	Enlucido de yeso	15	0,4

Tabla 7.3. Materiales, espesores y conductividad térmica de cada capa de la cubierta de grava.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez conocidos los espesores y la conductividad térmica de cada material, se puede proceder a realizar el cálculo de la resistencia térmica de cada uno de ellos, para posteriormente calcular la transmitancia térmica del conjunto. Como se ha comentado con anterioridad, la resistencia térmica es el resultado de dividir el espesor (en metros) entre la conductividad térmica, siendo los resultados finales los que se muestran en la Tabla 7.4.

	CAPAS	ESPESOR (m)	λ (W/m·K)	R (m ² ·K/W)
1	GRAVA	0,05	2,00	0,025
2	CAPA SEPARADORA	0,0026	0,05	0,052
3	AISLAMIENTO XPS	0,06	0,034	1,8
4	CAPA SEPARADORA	0,0021	0,05	0,042
5	IMPERMEABILIZACIÓN	0,0012	0,16	0,0075
6	FORMACIÓN PENDIENTES	0,11	0,19	0,58
7	FORJADO	0,3	-	0,21
8	ENLUCIDO	0,015	0,4	0,038

Tabla 7.4. Valores de resistencia térmica para las capas de la cubierta de grava.

Fuente: Elaboración propia.

Con todos los datos de resistencia obtenidos, se procede a calcular la resistencia térmica de todo el conjunto.

$$R_T = 0,04 + 0,025 + 0,052 + 1,8 + 0,042 + 0,0075 + 0,58 + 0,21 + 0,038 + 0,1$$

$$= 2,8945 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Por último, se calcula la transmitancia térmica de la cubierta, que es la inversa de la resistencia térmica.

$$U = 1/2,8945 = 0,345 \approx 0,35 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Analizando el valor obtenido de transmitancia térmica, se comprueba como este valor es un 22,22% más bajo que el límite establecido por el CTE en su DB-HE de 0,45 W/m²·K. En cambio, este valor supera al valor establecido como recomendado de 0,33 W/m²·K en un 6,06%. Comparando el resultado con el obtenido en la cubierta vegetal, se puede observar que existe una gran diferencia entre ambas transmitancias, exactamente de un 45,83%.

A continuación, se procede a calcular cuál tendría que ser el espesor del aislamiento para igualar la transmitancia entre ambas cubiertas. Para ello, se iguala el resultado de la

resistencia térmica total obtenida para la cubierta vegetal, pero con los datos de la cubierta de grava y teniendo como incógnita el valor de la resistencia térmica del aislamiento.

$$\begin{aligned} R_T &= 0,04 + 0,025 + 0,052 + X + 0,042 + 0,0075 + 0,58 + 0,21 + 0,038 + 0,1 \\ &= 4,2165 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \end{aligned}$$

siendo X,

$$\begin{aligned} X &= 4,2165 - 0,04 - 0,025 - 0,052 - 0,042 - 0,0075 - 0,58 - 0,21 - 0,038 - 0,1 \\ &= 3,122 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \end{aligned}$$

Una vez conocido el valor resultante de la resistencia térmica que debe aportar la capa de aislamiento de la cubierta, se procede a obtener el valor del espesor de dicha capa. Para ello, se utiliza la fórmula de la resistencia térmica, despejando el valor del espesor.

$$R = e/\lambda \rightarrow e = R \cdot \lambda$$

$$e = R \cdot \lambda = 3,122 \cdot 0,034 = 0,106 \approx 0,11 \text{ m} = \mathbf{11 \text{ cm}}$$

Al aumentar el espesor del aislamiento, su conductividad térmica varía, por lo que para un espesor de 11 cm le corresponde una conductividad térmica de 0,036 m·K/W, lo que quedaría:

$$e = R \cdot \lambda = 3,122 \cdot 0,036 = 0,112 \approx 0,11 \text{ m} = \mathbf{11 \text{ cm}}$$

Por lo tanto, el valor resultante del espesor del aislamiento que debería tener dicha cubierta para igualar la transmitancia térmica de la cubierta verde sería de 11 cm.

$$R = e/\lambda = 0,11/0,036 = 3,06 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$\begin{aligned} R_T &= 0,04 + 0,025 + 0,052 + 3,06 + 0,042 + 0,0075 + 0,58 + 0,21 + 0,038 + 0,1 \\ &= 4,1545 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \end{aligned}$$

$$U = 1/4,1545 = \mathbf{0,24 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}}$$

7.2.2 TRANSITABLE CON PAVIMENTO FIJO

A continuación, se procede al cálculo de la transmitancia térmica de otra de las tipologías de cubierta más habituales de la zona de Valencia, como es la cubierta plana invertida transitable con pavimento.

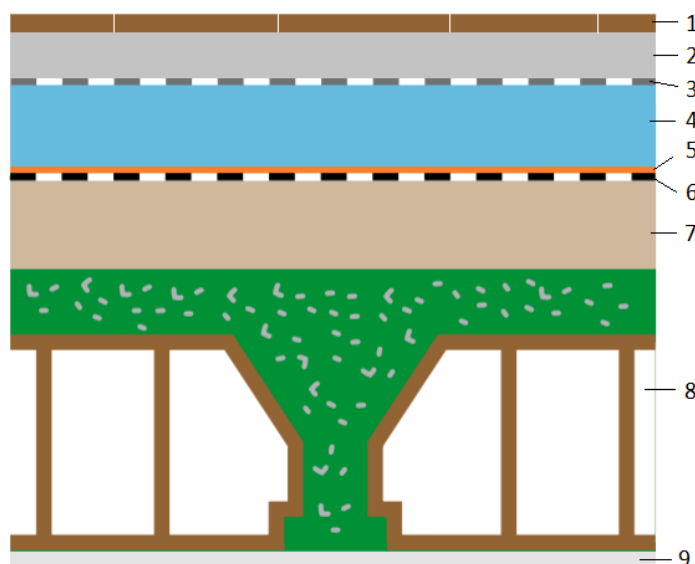


Fig. 7.3. Sección cubierta plana invertida con acabado de pavimento fijo.

Fuente: Guía técnica para rehabilitación de la envolvente térmica de los edificios.

Primeramente, se realiza el cálculo con el mismo espesor de aislamiento que se ha colocado en la cubierta vegetal. La Tabla 7.5 muestra los materiales utilizados en cada una de las capas de la cubierta plana junto con los espesores y la conductividad térmica de cada material. Los datos se han obtenido de las fichas técnicas de los materiales y del Catálogo de Elementos Constructivos del CTE.

CAPAS		MATERIALES	ESPESOR (mm)	λ (W/m·K)
1	PAVIMENTO	Baldosín catalán de 10x20 cm	8	1,00
2	ADHESIVO	Mortero de cemento hidrófugo	25	0,67
3	CAPA SEPARADORA	Geotextil no tejido de poliéster de 300 gr/m ²	2,6	0,05
4	AISLAMIENTO TÉRMICO	Poliestireno extruido (XPS)	60	0,034
5	CAPA SEPARADORA	Geotextil de poliéster de 200 gr/m ²	2,1	0,05
6	IMPERMEABILIZACIÓN	Lámina de PVC reforzado con fibra de vidrio	1,2	0,16
7	FORMACIÓN PENDIENTES	Hormigón ligero	110	0,19
8	FORJADO	Forjado unidireccional entrevigado de hormigón	300	-
9	ENLUCIDO	Enlucido de yeso	15	0,4

Tabla 7.5. Materiales, espesores y conductividad térmica de cada capa de la cubierta con pavimento.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez conocidos los espesores y la conductividad térmica de cada material, se puede proceder a realizar el cálculo de la resistencia térmica de cada uno de ellos, para posteriormente calcular la transmitancia térmica del conjunto. Como se ha comentado con anterioridad, la resistencia térmica es el resultado de dividir el espesor (en metros) entre la conductividad térmica, siendo los resultados finales los que se muestran en la Tabla 7.6.

	CAPAS	ESPESOR (m)	λ (W/m·K)	R (m ² ·K/W)
1	PAVIMENTO	0,008	1,00	0,008
2	ADHESIVO	0,025	0,67	0,037
3	CAPA SEPARADORA	0,0026	0,05	0,052
4	AISLAMIENTO XPS	0,06	0,034	1,8
5	CAPA SEPARADORA	0,0021	0,05	0,042
6	IMPERMEABILIZACIÓN	0,0012	0,16	0,0075
7	FORMACIÓN PENDIENTES	0,11	0,19	0,58
8	FORJADO	0,3	-	0,21
9	ENLUCIDO	0,015	0,4	0,038

Tabla 7.6. Valores de resistencia térmica para las capas de la cubierta con pavimento.

Fuente: Elaboración propia.

Con todos los datos de resistencia obtenidos, se procede a calcular la resistencia térmica de todo el conjunto.

$$R_T = 0,04 + 0,008 + 0,037 + 0,052 + 1,8 + 0,042 + 0,0075 + 0,58 + 0,21 + 0,038 + 0,1$$

$$= 2,9145 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Por último, se calcula la transmitancia térmica de la cubierta, que es la inversa de la resistencia térmica.

$$U = 1/2,9145 = 0,343 \approx 0,34 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Analizando el valor obtenido de transmitancia térmica, se comprueba como este valor es un 24,44% más bajo que el límite establecido por el CTE en su DB-HE de 0,45 W/m²·K. En cambio, este valor supera al valor establecido como recomendado de 0,33 W/m²·K en un 3,03%. Comparando el resultado con el obtenido en la cubierta vegetal, se puede observar que existe una gran diferencia entre ambas transmitancias, exactamente de un 41,67%.

A continuación, se procede a calcular cuál tendría que ser el espesor del aislamiento para igualar la transmitancia entre ambas cubiertas. Para ello, se iguala el resultado de la resistencia térmica total obtenida para la cubierta vegetal, pero con los datos de la cubierta de pavimento y teniendo como incógnita el valor de la resistencia térmica del aislamiento.

$$R_T = 0,04 + 0,008 + 0,037 + 0,052 + X + 0,042 + 0,0075 + 0,58 + 0,21 + 0,038 + 0,1$$

$$= 4,2165 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

siendo X,

$$X = 4,2165 - 0,04 - 0,008 - 0,037 - 0,052 - 0,042 - 0,0075 - 0,58 - 0,21 - 0,038 - 0,1$$

$$= 3,102 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Una vez conocido el valor resultante de la resistencia térmica que debe aportar la capa de aislamiento de la cubierta, se procede a obtener el valor del espesor de dicha capa. Para ello, se utiliza la fórmula de la resistencia térmica, despejando el valor del espesor.

$$R = e/\lambda \rightarrow e = R \cdot \lambda$$

$$e = R \cdot \lambda = 3,102 \cdot 0,034 = 0,105 \simeq 0,11 \text{ m} = \mathbf{11 \text{ cm}}$$

Al aumentar el espesor del aislamiento, su conductividad térmica varía, por lo que para un espesor de 11 cm le corresponde una conductividad térmica de 0,036 m·K/W, lo que quedaría:

$$e = R \cdot \lambda = 3,102 \cdot 0,036 = 0,11 \text{ m} = \mathbf{11 \text{ cm}}$$

Por lo tanto, el valor resultante del espesor del aislamiento que debería tener dicha cubierta para igualar la transmitancia térmica de la cubierta verde sería de 11 cm, al igual que para el caso de la cubierta de grava. Por consiguiente, se realiza el cálculo de la transmitancia térmica de la cubierta con pavimento para un valor de 11 cm de espesor de aislamiento.

$$R_T = 0,04 + 0,008 + 0,037 + 0,052 + 3,06 + 0,042 + 0,0075 + 0,58 + 0,21 + 0,038 + 0,1$$

$$= 4,1745 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$U = 1/4,1745 = 0,239 \simeq \mathbf{0,24 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}}$$

7.2.3 NO TRANSITABLE CON PROTECCIÓN DE GRAVA Y AISLAMIENTO DE POLIURETANO

Una vez realizado el cálculo para ambas cubiertas planas, se procede a realizar el cálculo de una de ellas, pero con distinto tipo de aislamiento térmico, en este caso, el poliuretano proyectado.

Primeramente, se realiza el cálculo con el mismo espesor de aislamiento que se ha colocado en la cubierta vegetal. La Tabla 7.7 muestra los materiales utilizados en cada una de las capas de la cubierta plana junto con los espesores y la conductividad térmica de cada material. Los datos se han obtenido de las fichas técnicas de los materiales y del Catálogo de Elementos Constructivos del CTE.

	CAPAS	MATERIALES	ESPESOR (mm)	λ (W/m·K)
1	GRAVA	Grava de diámetro entre 16-32 mm	50	2,00
2	CAPA SEPARADORA	Geotextil no tejido de poliéster de 300 gr/m ²	2,6	0,05
3	AISLAMIENTO TÉRMICO	Poliuretano proyectado.	60	0,028
4	CAPA SEPARADORA	Geotextil de poliéster de 200 gr/m ²	2,1	0,05
5	IMPERMEABILIZACIÓN	Lámina de PVC reforzado con fibra de vidrio	1,2	0,16
6	FORMACIÓN PENDIENTES	Hormigón ligero	110	0,19
7	FORJADO	Forjado unidireccional entrevigado de hormigón	300	-
8	ENLUCIDO	Enlucido de yeso	15	0,4

Tabla 7.7. Materiales, espesores y conductividad térmica de cada capa de la cubierta de grava con poliuretano.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez conocidos los espesores y la conductividad térmica de cada material, se realiza el cálculo de la resistencia térmica de cada uno de ellos, para posteriormente calcular la transmitancia térmica del conjunto. Como se ha comentado con anterioridad, la resistencia térmica es el resultado de dividir el espesor (en metros) entre la conductividad térmica, siendo los resultados finales los que se muestran en la Tabla 7.8.

CAPAS		ESPESOR (m)	λ (W/m·K)	R (m ² ·K/W)
1	GRAVA	0,05	2,00	0,025
2	CAPA SEPARADORA	0,0026	0,05	0,052
3	AISLAMIENTO POLIURETANO	0,06	0,028	2,143
4	CAPA SEPARADORA	0,0021	0,05	0,042
5	IMPERMEABILIZACIÓN	0,0012	0,16	0,0075
6	FORMACIÓN PENDIENTES	0,11	0,19	0,58
7	FORJADO	0,3	-	0,21
8	ENLUCIDO	0,015	0,4	0,038

Tabla 7.8. Valores de resistencia térmica para las capas de la cubierta de grava con poliuretano.

Fuente: Elaboración propia.

Con todos los datos de resistencia obtenidos, se procede a calcular la resistencia térmica de todo el conjunto.

$$R_T = 0,04 + 0,025 + 0,052 + 2,143 + 0,042 + 0,0075 + 0,58 + 0,21 + 0,038 + 0,1$$

$$= 3,2375 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Por último, se calcula la transmitancia térmica de la cubierta, que no es más que la inversa de la resistencia térmica.

$$U = 1/3,2375 = 0,309 \simeq 0,31 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Analizando el valor obtenido de transmitancia térmica, se comprueba como este valor es un 31,11% más bajo que el límite establecido por el CTE en su DB-HE de 0,45 W/m²·K. Además, este valor no supera al valor establecido como recomendado de 0,33 W/m²·K, quedando un 6,06% por debajo del mismo. Comparando el resultado con el obtenido en la cubierta vegetal, se puede observar que sigue existiendo una gran diferencia entre ambas transmitancias, quedando este un 29,17% por encima del valor de la cubierta vegetal.

A continuación, se procede a calcular cuál tendría que ser el espesor del aislamiento de poliuretano proyectado para igualar la transmitancia entre ambas cubiertas.

$$R_T = 0,04 + 0,025 + 0,052 + X + 0,042 + 0,0075 + 0,58 + 0,21 + 0,038 + 0,1$$

$$= 4,1665 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

siendo X,

$$\begin{aligned} X &= 4,2165 - 0,04 - 0,025 - 0,052 - 0,042 - 0,0075 - 0,58 - 0,21 - 0,038 - 0,1 \\ &= 3,122 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \end{aligned}$$

Una vez conocido el valor resultante de la resistencia térmica que debe aportar la capa de aislamiento de la cubierta, se procede a obtener el valor del espesor de dicha capa. Para ello, se utiliza la fórmula de la resistencia térmica, despejando el valor del espesor.

$$R = e/\lambda \rightarrow e = R \cdot \lambda$$

$$e = R \cdot \lambda = 3,122 \cdot 0,028 = 0,087 \approx 0,9 \text{ m} = \mathbf{9 \text{ cm}}$$

Por lo tanto, el valor resultante del espesor de la espuma de poliuretano proyectado que debería tener dicha cubierta para igualar la transmitancia térmica de la cubierta verde sería de 9 cm.

7.3 CUBIERTA INCLINADA CON ACABADO DE TEJA CURVA

Por último, se realiza el cálculo de la transmitancia térmica para otra de las soluciones más comunes y habituales de la zona de Valencia, la cubierta inclinada con acabado de teja curva.

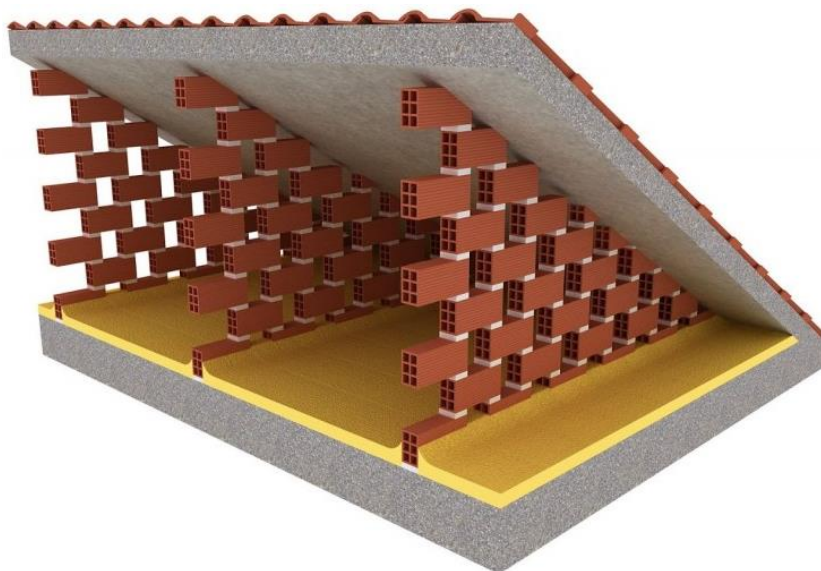


Fig. 7.4. Sección cubierta inclinada con acabado de teja.

Fuente: Atepa.

Para realizar el cálculo de la transmitancia térmica de esta solución, es necesario hacer uso del Documento de Apoyo al Documento Básico: DA-DB-HE/1 - Cálculo de parámetros característicos de la envolvente. Concretamente, en su apartado 2.1.3.1. Particiones interiores, define la transmitancia térmica U (W/m²·K) con la siguiente expresión:

$$U = U_p \cdot b$$

siendo,

U_p : la transmitancia térmica de la partición interior en contacto con el espacio no habitable, calculada según el apartado 2.1.1, tomando como resistencias superficiales los valores de la tabla 6. [$m^2 \cdot K/W$]

b : el coeficiente de reducción de temperatura (relacionado al espacio no habitable) obtenido por la tabla 7 para los casos concretos que se citan o mediante el procedimiento descrito.

Por lo tanto, el valor del coeficiente 'b' se puede obtener de la tabla 7, pero, para ello es necesario conocer con anterioridad la superficie del forjado (A_{h-nh}) y la de la cubierta (A_{nh-e}). A continuación, se muestran en la Fig. 7.5 los valores en metros de la cubierta sometida a estudio.

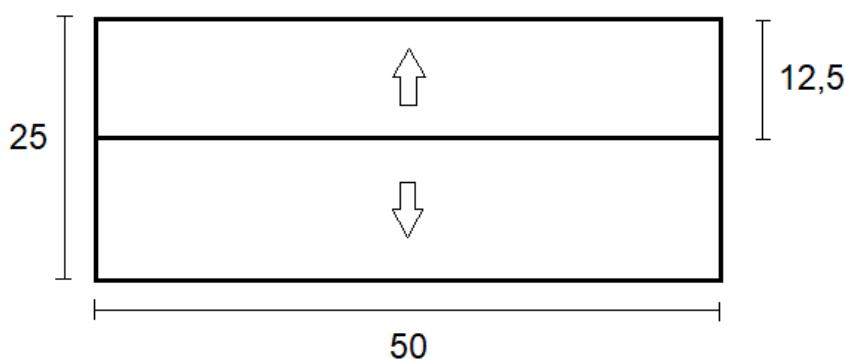


Fig. 7.5. Planta cubierta del edificio situado en Gandía.

Fuente: Elaboración propia.

Con estos datos, se puede proceder al cálculo de la superficie del forjado, siendo:

A_{nh-e} : Superficie del cerramiento entre el espacio no habitable y el exterior.

A_{h-nh} : Superficie de la partición interior entre el espacio habitable y no habitable.

Por lo tanto, se obtiene:

$$A_{h-nh} = 50 \times 25 = 1250 \text{ m}^2$$

Para el cálculo de la superficie de la cubierta, es necesario conocer el valor de la línea de máxima pendiente de la cubierta. Según el Documento Básico HS - Salubridad, concretamente en su sección HS-1 Protección frente a la humedad, define en la tabla 2.10 del apartado 2.4.3.1. Sistema de formación de pendientes, la pendiente mínima que debe de tener una cubierta inclinada para prescindir de impermeabilización. En este caso, al tratarse de una cubierta inclinada con acabado de teja curva, le corresponde un valor de pendiente

mínimo de 32%. A partir de este dato, se obtiene el valor de la altura de la cubierta inclinada, para posteriormente calcular la línea de máxima pendiente y, con ella, la superficie de la cubierta.

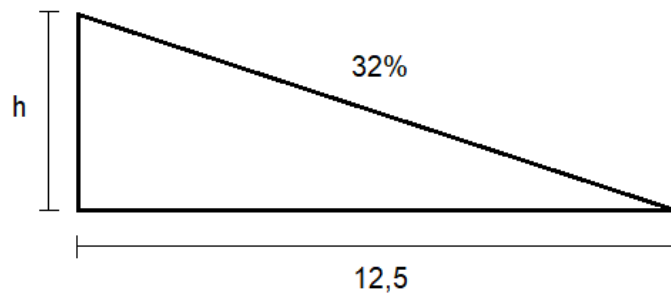


Fig. 7.6. Sección del faldón de la cubierta inclinada teniendo como incógnita la altura.

Fuente: Elaboración propia.

$$\text{Pte (32\%)} = \frac{h}{12,5} \times 100$$

$$h = \frac{32}{100 \cdot 12,5} = 4 \text{ m}$$

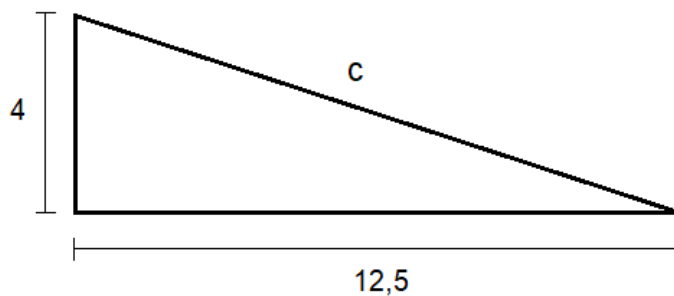


Fig. 7.7. Sección del faldón de la cubierta inclinada teniendo como incógnita la hipotenusa.

Fuente: Elaboración propia.

$$a^2 + b^2 = c^2$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{12,5^2 + 4^2} = \sqrt{172,25} = 13,12 \text{ m}$$

Una vez obtenido el valor de la línea de máxima pendiente, se puede proceder al cálculo de la superficie de la cubierta y posteriormente obtener la relación existente entre la superficie del forjado y de la cubierta.

$$A_{nh-e} = 50 \times 13,12 = 656 \text{ m}^2$$

Dicha superficie corresponde a la de un único faldón, por lo que se duplica el resultado obteniendo la superficie total de la cubierta.

$$A_{nh-e} = 656 \times 2 = 1312 \text{ m}^2$$

Tras obtener ambos valores, se procede a entrar en la tabla 7 mediante la relación existente entre la superficie del forjado y la de la cubierta.

$$\frac{A_{h-nh}}{A_{nh-e}} = \frac{1250}{1312} = 0,95$$

Siendo el elemento aislado el forjado y tratándose de un espacio ligeramente ventilado (Caso 1), se obtiene un valor para el coeficiente ‘b’ igual a 0,94.

A continuación, se procede a calcular la otra variante de la transmitancia térmica de la cubierta inclinada, que es la de la partición interior (U_p), en este caso la del forjado. Para ello, es necesario conocer los valores de las resistencias superficiales, los cuales se extraen de la Tabla 6. Resistencias térmicas superficiales de particiones interiores en $m^2 \cdot K/W$, siendo $R_{se}=R_{si}=0,10 m^2 \cdot K/W$.

Para aislar el forjado, lo más común en cubiertas inclinadas es la utilización de lana de roca. Por lo tanto, para este caso, se utiliza un fieltro de lana de roca, con un espesor de 6 cm, al igual que el de la cubierta verde, y con un valor de resistencia térmica de $1,40 m^2 \cdot K/W$. A continuación, se procede a calcular la resistencia térmica total del forjado.

$$R_p = R_{se} + R_{Forjado} + R_{si} = 0,10 + 0,21 + 1,40 + 0,10 = 1,81 m^2 \cdot K/W$$

A continuación, se calcula la transmitancia térmica del forjado, que es la inversa de la resistencia.

$$U_p = \frac{1}{R_p} = \frac{1}{1,81} = 0,5525 W/m^2 \cdot K$$

Por último, se calcula la transmitancia térmica total de la cubierta inclinada, que se trata de la transmitancia térmica del forjado multiplicado por el coeficiente ‘b’.

$$U = U_p \cdot b = 0,4149 \cdot 0,94 = 0,52 W/m^2 \cdot K$$

Analizando el valor obtenido de transmitancia térmica, se comprueba como este valor supera al límite establecido por el CTE en su DB-HE de $0,45 W/m^2 \cdot K$ en un 15,56%. Además, este valor supera al establecido como recomendado de $0,33 W/m^2 \cdot K$, quedando un 57,58% por encima del mismo. Comparando el resultado con el obtenido en la cubierta vegetal, se puede observar que existe una gran diferencia entre ambas transmitancias, exactamente de un 116,67%.

A continuación, se procede a calcular el espesor necesario en la capa de aislamiento de lana de roca para igualar la transmitancia térmica de la cubierta inclinada con la cubierta vegetal. Para ello, se iguala el resultado de la transmitancia térmica obtenida para la cubierta

verde, pero con los datos de la cubierta inclinada y teniendo como incógnita el valor de la transmitancia térmica del forjado.

$$U = U_p \cdot b = 0,24 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

siendo U_p ,

$$U_p = \frac{U}{b} = \frac{0,24}{0,94} = \mathbf{0,2553 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}}$$

Tras conocer el valor de la transmitancia térmica del forjado, se calcula el valor de la resistencia térmica del mismo.

$$U_p = \frac{1}{R_p} \rightarrow R_p = \frac{1}{U_p} = \frac{1}{0,2553} = \mathbf{3,917 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}}$$

Una vez obtenido el valor de la resistencia térmica, se procede a calcular cual tendría que ser el valor de la resistencia térmica del aislamiento de lana de roca.

$$R_p = R_{se} + R_{Forjado} + R_{Aislamiento} + R_{si} = 3,917 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{Aislamiento} = R_p - R_{se} - R_{Forjado} - R_{si} = 3,917 - 0,10 - 0,21 - 0,10 = \mathbf{3,507 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}}$$

Por último, se procede a calcular el espesor de la lana de roca. Para ello, se utiliza la fórmula de la resistencia térmica, despejando el valor del espesor.

$$R = e/\lambda \rightarrow e = R \cdot \lambda$$

$$e = R \cdot \lambda = 3,507 \cdot 0,042 = 0,15 \text{ m} = \mathbf{15 \text{ cm}}$$

Por lo tanto, el valor resultante del espesor de aislamiento de lana de roca que debería tener dicha cubierta para igualar la transmitancia térmica de la cubierta verde sería de 15 cm. Sin embargo, observando fichas comerciales, no se encuentran mantas de lana de roca con dicho espesor, por lo que habría que recurrir a un espesor de 16 cm.

Por otro lado, se procede a realizar el cálculo colocando poliuretano proyectado en lugar de lana de roca. Para ello, se realiza el mismo procedimiento que para la lana de roca, siendo todos los valores equitativos hasta llegar al valor del espesor, ya que la conductividad térmica del poliuretano es diferente a la de la lana de roca.

$$e = R \cdot \lambda = 3,507 \cdot 0,028 = 0,098 \simeq 0,10 \text{ m} = \mathbf{10 \text{ cm}}$$

Por lo tanto, el valor resultante del espesor de aislamiento de poliuretano proyectado que debería tener dicha cubierta para igualar la transmitancia térmica de la cubierta verde sería de 10 cm.

7.4 COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Tras realizar el cálculo de la transmitancia térmica de las distintas tipologías de cubierta, se exponen los resultados obtenidos en la Tabla 7.9, para realizar un comparativo de los mismos.

TIPO DE CUBIERTA	TIPO DE AISLANTE	ESPESOR AISLANTE (cm)	U (W/m ² ·K)
Cubierta verde de tipo extensivo con espesor de sustrato de 15 cm.	XPS	6	0,24
Cubierta plana invertida no transitable con protección de grava.	XPS	6	0,35
Cubierta plana invertida transitable con pavimento fijo.	XPS	6	0,34
Cubierta plana invertida no transitable con protección de grava.	PUR PROYECTADO	6	0,31
Cubierta inclinada con acabado de teja.	LANA DE ROCA	6	0,52

Tabla 7.9. Cuadro comparativo de transmitancias térmicas de las distintas tipologías de cubierta.

Fuente: Elaboración propia.

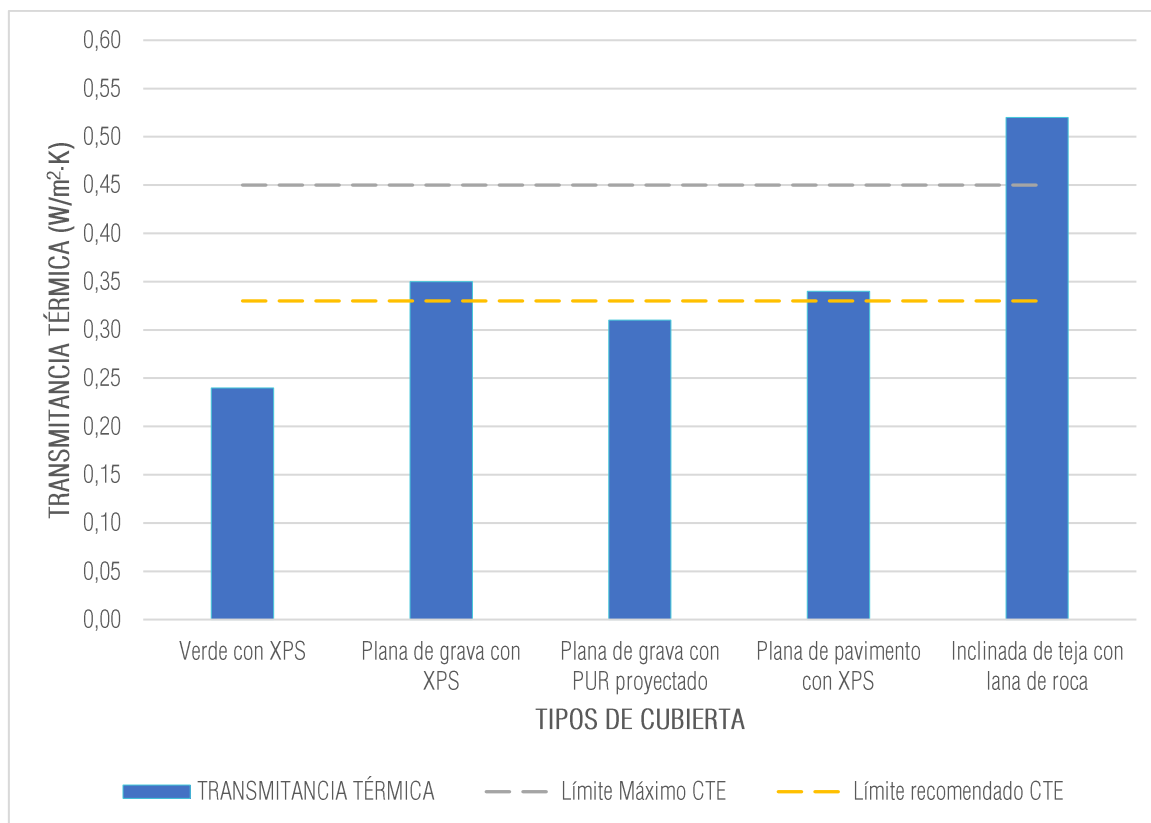


Fig. 7.8. Resultados obtenidos para el mismo valor de espesor en el aislamiento térmico.

Fuente: Elaboración propia.

En los resultados obtenidos, se observa como todas las tipologías de cubiertas con el mismo valor de espesor de aislamiento térmico que el colocado en la cubierta verde cumplen con el límite establecido por el CTE de $0,45 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, excepto la cubierta inclinada con lana de roca. En cambio, en cuanto al límite recomendado de $0,33 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, solamente cumple la cubierta plana con poliuretano proyectado.

A continuación, en la Tabla 7.10 se muestra la diferencia, expresada en porcentaje, entre los resultados obtenidos de los coeficientes de transmitancia térmica de las distintas cubiertas y el obtenido para la cubierta verde.

TIPO DE CUBIERTA	CUBIERTA VERDE
Cubierta plana invertida no transitable con protección de grava y 6 cm de XPS.	45,83%
Cubierta plana invertida transitable con pavimento fijo y 6 cm de XPS.	41,67%
Cubierta plana invertida no transitable con protección de grava y 6 cm de PUR proyectado.	29,17%
Cubierta inclinada con acabado de teja y 6 cm de lana de roca.	116,67%

Tabla 7.10. Diferencia en porcentaje de las distintas transmitancias térmicas obtenidas para cada tipo de cubierta con la de la cubierta verde.

Fuente: Elaboración propia.

Tras observar la tabla, se aprecia cómo existe una gran diferencia de resultados, sobre todo para el valor de la cubierta inclinada con lana de roca, ya que este aislamiento ofrece peores prestaciones que el poliestireno y el poliuretano. Por otro lado, la que menos se aleja del valor ofrecido por la cubierta verde es la cubierta aislada mediante poliuretano, ya que este aislamiento tiene menor conductividad térmica que cualquiera de los otros aislamientos colocados.

Para igualar las transmitancias térmicas, y que el valor del porcentaje anterior sea nulo, se ha de recurrir a aumentar el espesor de la capa aislante de cada una de las distintas tipologías, tal como se muestra en la Tabla 7.11.

TIPO DE CUBIERTA	TIPO DE AISLANTE	ESPESOR AISLANTE (cm)	U (W/m ² ·K)
Cubierta verde de tipo extensivo con espesor de sustrato de 15 cm.	XPS	6	0,24
Cubierta plana invertida no transitable con protección de grava.	XPS	11	0,24
Cubierta plana invertida transitable con pavimento fijo.	XPS	11	0,24
Cubierta plana invertida no transitable con protección de grava.	PUR PROYECTADO	9	0,24
Cubierta inclinada con acabado de teja.	LANA DE ROCA	15	0,24
Cubierta inclinada con acabado de teja.	PUR PROYECTADO	10	0,24

Tabla 7.11. Cuadro comparativo de las distintas tipologías de cubierta con misma transmitancia térmica.

Fuente: Elaboración propia.

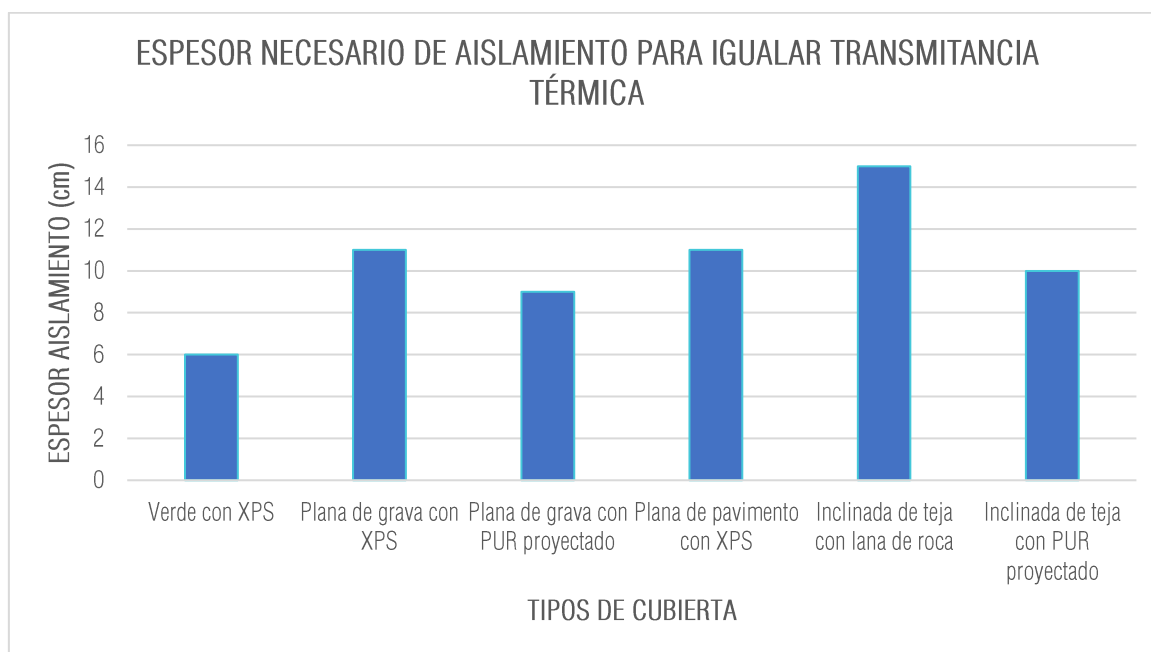


Fig. 7.9. Espesores necesarios para igualar la transmitancia térmica en cada tipo de cubierta.

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, para las distintas tipologías de cubiertas convencionales es necesario aumentar el espesor de su capa de aislamiento para igualar la transmitancia térmica con la que aporta la cubierta vegetal con un espesor de aislamiento de XPS de 6 cm. En el caso de las cubiertas planas en las que se ha utilizado XPS, necesitan de un espesor de 11 cm, mientras que en la que se ha utilizado poliuretano proyectado necesita de 9 cm de espesor,

ya que, como se ha descrito con anterioridad, el material de poliuretano posee una conductividad térmica inferior a la del poliestireno extruido. Por otro lado, la cubierta inclinada con lana de roca de capa aislante necesita de un espesor de 15 cm y la cubierta inclinada con poliuretano proyectado un espesor de 10 cm.

Tras analizar los resultados, se puede observar que el espesor y el tipo de aislante térmico utilizados son claves para alcanzar un objetivo de ahorro energético.

La cubierta verde, mediante su capa de sustrato vegetal, aporta a la cubierta un espesor adicional que no poseen las demás tipologías de cubierta, lo que conlleva a una reducción considerable en la transmitancia térmica del conjunto. Por ello, en ocasiones, no es necesario colocar una capa de aislamiento térmico, ya que la propia capa de tierra vegetal aporta a la cubierta un valor equiparable al del aislamiento térmico. Eso ocurre sobre todo en las cubiertas verdes de tipo intensivo, ya que se trata de cubiertas con un gran espesor en su capa vegetal.

Por otro lado, es aconsejable el uso de una mínima capa de aislamiento que regule el comportamiento térmico de la cubierta en los días de lluvia, protegiéndola de posibles puentes térmicos. Cuando llueve y el sustrato se moja, aumenta su conductividad térmica, transmitiendo las bajas o altas temperaturas a las capas inferiores de la cubierta hasta alcanzar el interior de la vivienda.

Finalmente, con esta comparación de transmitancias térmicas entre las distintas soluciones constructivas utilizadas en la construcción de viviendas, se comprueba cómo influyen tres parámetros:

- 1.- Espesor de aislante
- 2.- Tipo de aislante
- 3.- Conductividad térmica del material

Estos resultados son una medida pasiva a tener en cuenta durante el diseño de un edificio para conseguir reducir la demanda energética del mismo.

8 ESTUDIO ECONÓMICO

En este apartado, se estudiará el coste de ejecución de la cubierta verde sometida a estudio y el de las distintas tipologías de cubiertas convencionales planteadas para comparar los resultados y evaluar la viabilidad de incorporar en los proyectos y ejecutar cubiertas verdes en obras de nueva construcción.

Para ello, se calcula el coste de ejecución de las cubiertas que proporcionan el mismo valor de transmitancia térmica, las cuáles vienen expuestas en la Tabla 7.11, ya que es necesario equiparar su valor aislante para que la comparativa entre las mismas sea lo más real y fiable posible.

Todos los precios que a continuación se exponen, excepto los de la cubierta verde, son extraídos de la base de precios del IVE, actualizada a fecha de junio de 2017, mediante la opción de la Conselleria de Infraestructuras de la Generalitat Valenciana, ya que el edificio sometido a estudio se trata de un edificio público sufragado íntegramente por la Conselleria d'Obres Públiques.

8.1 CUBIERTA VERDE

La cubierta sometida a estudio es, comercialmente, una cubierta vegetal de tipo fitum, una de las tipologías de cubierta verde de tipo extensivo que se ofrece en el mercado. Su precio es de 30,80 €/m², y en él se incluyen las siguientes partidas:

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 1. CUBIERTA VEGETAL FITUM									
1.1	m2 Cubierta vegetal FITUM								
	Suministro e instalación de cubierta vegetal sistema FITUM, compuesta por capa de manta de polipropileno no tejido especial cubiertas vegetales de 100gr/m2, panel Fitum con capacidad de retención de agua de 3 litros/m2, capa de Deltagarden STS 100gr/m2 y aporte y reparto de 15 cm de espesor medio de sustrato especialmente formulado para cubiertas vegetales.								
	No incluye obras de preparación de la zona, impermeabilizaciones ajenas al sistema FITUM, cimentaciones, medios de elevación o andamiajes si fueran necesarios ni terminación vegetal de la cubierta.								
	No incluye acometidas de agua y electricidad, sistema de riego, conducción del agua de riego desde la ubicación del jardín, ni obra civil necesaria para la instalación y posterior salvaguarda de los elementos exteriores de riego.								
	El equipo de programación de riego y el equipo de fertirrigación (en caso de incluirse) deberán ubicarse protegidos de la intemperie y del acceso a personal no autorizado, para garantizar su durabilidad y para evitar su manipulación por terceras personas no cualificadas. La construcción de dicha protección, en caso de no existir, no se contempla en el presente presupuesto. El punto de agua se supone junto a la zona de obras, no incluye acometida hasta el punto de agua más cercano ni obra civil necesaria para la instalación y posterior salvaguarda de los elementos exteriores de riego.								
	Mediciones proporcionadas	1490,08					1.490,08		
								27,64	41.185,81
							1.490,08		

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
1.2	<p>m2 Riego por aspersión + Semillado</p> <p>Suministro e instalación de sistema de riego mediante aspersores emergentes. Completamente terminado, comprobado y funcionando.</p> <p>Acabado vegetal de la cubierta verde mediante semillado de especies de césped especialmente seleccionadas para el clima de la zona.</p> <p>No incluye obras de preparación de la zona, impermeabilizaciones ajenas al sistema FITUM, cimentaciones, medios de elevación o andamiajes si fueran necesarios ni terminación vegetal de la cubierta.</p> <p>No incluye acometidas de agua y electricidad, sistema de riego, conducción del agua de riego desde la ubicación del jardín, ni obra civil necesaria para la instalación y posterior salvaguarda de los elementos exteriores de riego.</p> <p>El equipo de programación de riego y el equipo de fertirrigación (en caso de incluirse) deberán ubicarse protegidos de la intemperie y del acceso a personal no autorizado, para garantizar su durabilidad y para evitar su manipulación por terceras personas no cualificadas. La construcción de dicha protección, en caso de no existir, no se contempla en el presente presupuesto. El punto de agua se supone junto a la zona de obras, no incluye acometida hasta el punto de agua más cercano ni obra civil necesaria para la instalación y posterior salvaguarda de los elementos exteriores de riego.</p>								
	Mediciones proporcionadas	1490,08				1.490,08			
							1.490,08	3,16	4.708,65

Fig. 8.1. Presupuesto de la cubierta vegetal realizada en Gandía.

Fuente: Singulargreen

Se puede observar que en este precio no se incluyen los trabajos de las capas anteriores a la capa antipunzonante, ya que éstas fueron realizadas por otra empresa. Asimismo, se solicitó a la empresa que ejecutó la cubierta sometida a estudio, el valor de los precios de las capas anteriores a la misma, siendo los siguientes:

- Aislamiento de XPS de 60 mm de espesor: 10,41 €/m²
- Geotextil no tejido de poliéster de 200 gr/m²: 0,31 €/m²
- Impermeabilización con lámina de PVC de 1,2mm de espesor y armada con malla de fibra de vidrio: 10,50 €/m²

Por otro lado, la valoración de la formación de pendientes se ha obtenido de la base de precios del IVE, ya que la empresa no ofrecía la realización de este trabajo.

- Formación de pendientes de 11cm de hormigón aligerado celular, terminado con capa de 1,5cm de mortero de cemento para regularización de pendientes: 16,24 €/m²

En todos los precios anteriormente descritos, viene incluida la mano de obra.

Realizando la suma de todos y cada uno de los trabajos necesarios para la realización de la cubierta verde de tipo extensivo completa, estos hacen un total de **68,26 €/m²**.

8.2 CUBIERTA PLANA INVERTIDA NO TRANSITABLE CON PROTECCIÓN DE GRAVA

En este apartado se expone la justificación de los precios de la cubierta con dos espesores de aislamiento de XPS, ya que el espesor calculado con anterioridad de 11 cm, necesario para igualar la transmitancia térmica con la de la cubierta vegetal, no suele encontrarse en casas comerciales, por lo que también se ha realizado el cálculo con un espesor de 12 cm en su capa aislante.

CUBIERTA PLANA INVERTIDA CON ACABADO DE GRAVA (11 CM DE XPS)					
ID	UD.	DESCRIPCIÓN	RDTO.	PRECIO	IMPORTE
1 Materiales					
MT 01	m3	Hormigón celular	0,120	47,04	5,64
MT 02	u	Ladrillo hueco sencillo 24x11.5x4cm	2,500	0,10	0,25
MT 03	u	Ladrillo hueco sencillo 24x11.5x7cm	3,300	0,12	0,40
MT 04	m3	Mortero de cemento M-5	0,012	76,49	0,92
MT 05	m2	Lámina de PVC e1,2mm c/arm FV	1,100	10,39	11,43
MT 06	m2	Geotextil no tejido de poliéster 200 gr/m2	1,050	0,34	0,36
MT 07	m2	Panel XPS 0.036 e110mm	1,050	16,72	17,56
MT 08	m2	Geotextil no tejido de poliéster 300 gr/m2	1,200	0,52	0,62
MT 09	t	Grava silícea 18/25 20km	0,170	9,68	1,65
MT 10	u	Cazoleta normal para desagüe vertical ø80mm	0,040	15,90	0,64
2 Mano de obra					
MO 01	h	Oficial 1ª construcción	1,020	15,77	16,09
MO 02	h	Peón especializado construcción	0,950	13,63	12,95
3 Costes directos complementarios					
% Costes directos complementarios sobre el total			0,020	68,49	1,37
				TOTAL	69,86

Tabla 8.1. Precios unitarios descompuestos de cubierta con acabado de grava y 11 cm de XPS.

Fuente: Elaboración propia.

CUBIERTA PLANA INVERTIDA CON ACABADO DE GRAVA (12 CM DE XPS)					
ID	UD.	DESCRIPCIÓN	RDTO.	PRECIO	IMPORTE
1 Materiales					
MT 01	m3	Hormigón celular	0,120	47,04	5,64
MT 02	u	Ladrillo hueco sencillo 24x11.5x4cm	2,500	0,10	0,25
MT 03	u	Ladrillo hueco sencillo 24x11.5x7cm	3,300	0,12	0,40
MT 04	m3	Mortero de cemento M-5	0,012	76,49	0,92
MT 05	m2	Lámina de PVC e1,2mm c/arm FV	1,100	10,39	11,43
MT 06	m2	Geotextil no tejido de poliéster 200 gr/m2	1,050	0,34	0,36
MT 07	m2	Panel XPS 0.036 e120mm	1,050	18,24	19,15
MT 08	m2	Geotextil no tejido de poliéster 300 gr/m2	1,200	0,52	0,62
MT 09	t	Grava silícea 18/25 20km	0,170	9,68	1,65
MT 10	u	Cazoleta normal para desagüe vertical ø80mm	0,040	15,90	0,64
2 Mano de obra					
MO 01	h	Oficial 1ª construcción	1,020	15,77	16,09
MO 02	h	Peón especializado construcción	0,950	13,63	12,95
3 Costes directos complementarios					
% Costes directos complementarios sobre el total			0,020	70,09	1,40
				TOTAL	71,49

Tabla 8.2. Precios unitarios descompuestos de cubierta con acabado de grava y 12 cm de XPS.

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, se adjunta el precio de la cubierta realizada con poliuretano proyectado como aislamiento térmico. El precio del poliuretano se ha solicitado a una empresa del sector en la provincia de Alicante, la cual ofrecía el producto por m² según los cm de espesor, siendo el precio de 1,80 €/m² por cada cm de espesor, lo que hace un total de 16,20€/m² en este caso.

CUBIERTA PLANA INVERTIDA CON ACABADO DE GRAVA (9 CM DE PUR PROYECTADO)					
ID	UD.	DESCRIPCIÓN	RDTO.	PRECIO	IMPORTE
1		Materiales			
MT 01	m3	Hormigón celular	0,120	47,04	5,64
MT 02	u	Ladrillo hueco sencillo 24x11.5x4cm	2,500	0,10	0,25
MT 03	u	Ladrillo hueco sencillo 24x11.5x7cm	3,300	0,12	0,40
MT 04	m3	Mortero de cemento M-5	0,012	76,49	0,92
MT 05	m2	Lámina de PVC e1,2mm c/arm FV	1,100	10,39	11,43
MT 06	m2	Geotextil no tejido de poliéster 200 gr/m2	1,050	0,34	0,36
MT 07	m2	Poliuretano proyectado de 50 kg/m3 y e90mm	1,000	16,20	16,20
MT 08	m2	Geotextil no tejido de poliéster 300 gr/m2	1,200	0,52	0,62
MT 09	t	Grava silícea 18/25 20km	0,170	9,68	1,65
MT 10	u	Cazoleta normal para desagüe vertical ø80mm	0,040	15,90	0,64
2		Mano de obra			
MO 01	h	Oficial 1ª construcción	1,020	15,77	16,09
MO 02	h	Peón especializado construcción	0,950	13,63	12,95
MO 03	h	Oficial 1ª aplicador de productos aislantes	0,096	17,24	1,66
MO 04	h	Ayudante aplicador de productos aislantes	0,096	16,13	1,55
3		Equipos de obra			
EQ 01	h	Equipo de proyección poliuretano	0,200	16,00	3,20
4		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios sobre el total	0,020	73,54	1,47
				TOTAL	75,01

Tabla 8.3. Precios unitarios descompuestos de cubierta con acabado de grava y 9 cm de PUR.

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que, en este caso, el precio total de la cubierta es superior al anterior. Esto es debido a que para este tipo de aislamiento térmico se necesita mano de obra especializada y equipos de obra auxiliares, los cuales encarecen el precio del aislamiento en comparación con las planchas de poliestireno extruido.

Por otro lado, el espesor necesario para igualar la transmitancia térmica con la de la cubierta verde es menor que en el caso del poliestireno extruido, ya que el poliuretano ofrece una conductividad inferior que la del poliestireno. A pesar de ello, sigue siendo más económico colocar planchas de poliestireno extruido que un aislamiento de poliuretano proyectado con menor espesor.

Este es uno de los motivos por los que habitualmente se utiliza poliestireno extruido como aislamiento térmico, ya que resulta bastante más económico frente al poliuretano proyectado.

8.3 CUBIERTA PLANA INVERTIDA TRANSITABLE CON PAVIMENTO FIJO

En este apartado, al igual que en el caso de la cubierta de grava, se expondrá el precio de la cubierta con dos espesores de aislamiento de XPS.

CUBIERTA PLANA INVERTIDA CON PAVIMENTO FIJO (11 CM DE XPS)					
ID	UD.	DESCRIPCIÓN	RDTO.	PRECIO	IMPORTE
1		Materiales			
MT 01	m3	Hormigón celular	0,120	47,04	5,64
MT 02	u	Ladrillo hueco sencillo 24x11.5x4cm	2,500	0,10	0,25
MT 03	u	Ladrillo hueco sencillo 24x11.5x7cm	3,300	0,12	0,40
MT 04	m3	Mortero de cemento M-5	0,012	76,49	0,92
MT 05	m2	Lámina de PVC e1,2mm c/arm FV	1,100	10,39	11,43
MT 06	m2	Geotextil no tejido de poliéster 200 gr/m2	1,050	0,34	0,36
MT 07	m2	Panel XPS 0.036 e110mm	1,050	16,72	17,56
MT 08	m2	Geotextil no tejido de poliéster 300 gr/m2	1,200	0,52	0,62
MT 09	m3	Mortero hidrófugo 25mm	0,015	93,54	1,40
MT 10	m2	Baldosín catalán 100x200mm	1,050	5,44	5,71
MT 11	u	Cazoleta sifónica para desagüe vertical ø80mm	0,040	23,93	0,96
2		Mano de obra			
MO 01	h	Oficial 1ª construcción	1,270	15,77	20,03
MO 02	h	Peón especializado construcción	0,890	13,63	12,13
3		Costes directos complementarios			
%		Costes directos complementarios sobre el total	0,020	77,41	1,55
				TOTAL	78,95

Tabla 8.4. Precios unitarios descompuestos de cubierta con pavimento fijo y 11 cm de XPS.

Fuente: Elaboración propia.

CUBIERTA PLANA INVERTIDA CON PAVIMENTO FIJO (12 CM DE XPS)					
ID	UD.	DESCRIPCIÓN	RDTO.	PRECIO	IMPORTE
1		Materiales			
MT 01	m3	Hormigón celular	0,120	47,04	5,64
MT 02	u	Ladrillo hueco sencillo 24x11.5x4cm	2,500	0,10	0,25
MT 03	u	Ladrillo hueco sencillo 24x11.5x7cm	3,300	0,12	0,40
MT 04	m3	Mortero de cemento M-5	0,012	76,49	0,92
MT 05	m2	Lámina de PVC e1,2mm c/arm FV	1,100	10,39	11,43
MT 06	m2	Geotextil no tejido de poliéster 200 gr/m2	1,050	0,34	0,36
MT 07	m2	Panel XPS 0.036 e120mm	1,050	18,24	19,15
MT 08	m2	Geotextil no tejido de poliéster 300 gr/m2	1,200	0,52	0,62
MT 09	m3	Mortero hidrófugo 25mm	0,015	93,54	1,40
MT 10	m2	Baldosín catalán 100x200mm	1,050	5,44	5,71
MT 11	u	Cazoleta sifónica para desagüe vertical ø80mm	0,040	23,93	0,96
2		Mano de obra			
MO 01	h	Oficial 1ª construcción	1,270	15,77	20,03
MO 02	h	Peón especializado construcción	0,890	13,63	12,13
3		Costes directos complementarios			
%		Costes directos complementarios sobre el total	0,020	79,00	1,58
				TOTAL	80,58

Tabla 8.5. Precios unitarios descompuestos de cubierta con pavimento fijo y 12 cm de XPS.

Fuente: Elaboración propia.

8.4 CUBIERTA INCLINADA CON ACABADO DE TEJA CURVA

A continuación, en la Tabla 8.6 se adjunta el precio de la cubierta inclinada con acabado de teja curva y aislada mediante lana de roca. Al consultar la base de precios del IVE e incluso en catálogos de distintas casas comerciales, el espesor calculado con anterioridad de 15 cm, necesario para igualar la transmitancia térmica con la de la cubierta vegetal, no aparece. Por ello, se ha realizado el cálculo mediante un espesor de lana de roca de 16 cm.

CUBIERTA INCLINADA CON ACABADO DE TEJA CURVA (LANA DE ROCA DE 16CM)					
ID	UD.	DESCRIPCIÓN	RDTO.	PRECIO	IMPORTE
1		Materiales			
MT 01	m2	Manta lana de roca 0.042 e160mm	1,050	7,77	8,16
MT 02	m3	Mortero de cemento M-5	0,013	76,49	0,99
MT 03	m3	Mortero de cemento M-2,5	0,026	71,88	1,87
MT 04	u	Ladrillo hueco doble 24x11.5x9cm	35,000	0,13	4,55
MT 05	u	Bardo cerámico machiembrado 100x25x3.5cm	4,700	0,88	4,14
MT 06	u	Teja cerámica curva 50x23x15cm	29,400	0,68	19,99
2		Mano de obra			
MO 01	h	Oficial 1ª construcción	1,647	15,77	25,97
MO 02	h	Peón ordinario construcción	2,177	13,11	28,54
3		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios sobre el total	0,030	94,21	2,83
				TOTAL	97,04

Tabla 8.6. Precios unitarios descompuestos de cubierta inclinada con teja y 16 cm de lana de roca.

Fuente: Elaboración propia.

La forma más tradicional de aislar térmicamente una cubierta inclinada es mediante esta solución, aunque no quiere decir que sea la más correcta. Las mantas de lana de roca crean puentes térmicos en la unión de estas con los tabiquillos, los cuales se suprimirían mediante un aislamiento continuo como es el poliuretano proyectado.

En la Tabla 8.7 se muestra el precio de la solución de cubierta inclinada mediante aislamiento de poliuretano proyectado.

CUBIERTA INCLINADA CON ACABADO DE TEJA CURVA (10 CM DE PUR PROYECTADO)					
ID	UD.	DESCRIPCIÓN	RDTO.	PRECIO	IMPORTE
1		Materiales			
MT 01	m2	Poliuretano proyectado de 50 kg/m3 y e100mm	1,000	18,00	18,00
MT 02	m3	Mortero de cemento M-5	0,013	76,49	0,99
MT 03	m3	Mortero de cemento M-2,5	0,026	71,88	1,87
MT 04	u	Ladrillo hueco doble 24x11.5x9cm	35,000	0,13	4,55
MT 05	u	Bardo cerámico machiembrado 100x25x3.5cm	4,700	0,88	4,14
MT 06	u	Teja cerámica curva 50x23x15cm	29,400	0,68	19,99
2		Mano de obra			
MO 01	h	Oficial 1ª construcción	1,579	15,77	24,90
MO 02	h	Peón ordinario construcción	2,109	13,11	27,65
MO 03	h	Oficial 1ª aplicador de productos aislantes	0,096	17,24	1,66
MO 04	h	Ayudante aplicador de productos aislantes	0,096	16,13	1,55
3		Equipos de obra			
EQ 01	h	Equipo de proyección poliuretano	0,200	16,00	3,20
4		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios sobre el total	0,030	108,49	3,25
				TOTAL	111,75

Tabla 8.7. Precios unitarios descompuestos cubierta inclinada con teja y 10 cm de PUR proyectado.

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar, al igual que en el caso de la cubierta de grava que, aislando con poliuretano proyectado, el precio total de la cubierta aumenta. Esto es debido a que las mantas de lana de roca son más económicas frente al poliuretano proyectado. Asimismo, la lana de roca no necesita mano de obra especializada ni equipos de obra auxiliares como en el caso del poliuretano proyectado.

A pesar de ello, como se ha descrito con anterioridad, las mantas de lana de roca presentan un inconveniente, ya que crean puentes térmicos en la unión de estas con los tabiquillos. Por este motivo, es aconsejable la utilización de poliuretano proyectado en dicha solución constructiva, ya que, al ofrecer un aislamiento continuo, elimina cualquier puente térmico que podría generarse en el caso de utilizar las planchas de poliestireno extruido o las mantas de lana de roca.

8.5 COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación, en la Tabla 8.8 y la Fig. 8.2, se exponen, de manera resumida, los precios por m² de las distintas soluciones de cubierta estudiadas.

TIPO DE CUBIERTA	TIPO DE AISLANTE	ESPESOR AISLANTE (cm)	PRECIO (€/m ²)
Cubierta verde de tipo extensivo con espesor de sustrato de 15 cm.	XPS	6	68,26
Cubierta plana invertida no transitable con protección de grava.	XPS	11	69,86
Cubierta plana invertida no transitable con protección de grava.	XPS	12	71,49
Cubierta plana invertida no transitable con protección de grava.	PUR PROYECTADO	9	75,01
Cubierta plana invertida transitable con pavimento fijo.	XPS	11	78,95
Cubierta plana invertida transitable con pavimento fijo.	XPS	12	80,58
Cubierta inclinada con acabado de teja.	LANA DE ROCA	16	97,04
Cubierta inclinada con acabado de teja.	PUR PROYECTADO	10	111,75

Tabla 8.8. Precios de los distintos tipos de cubierta según tipo y espesor de aislamiento.

Fuente: Elaboración propia.

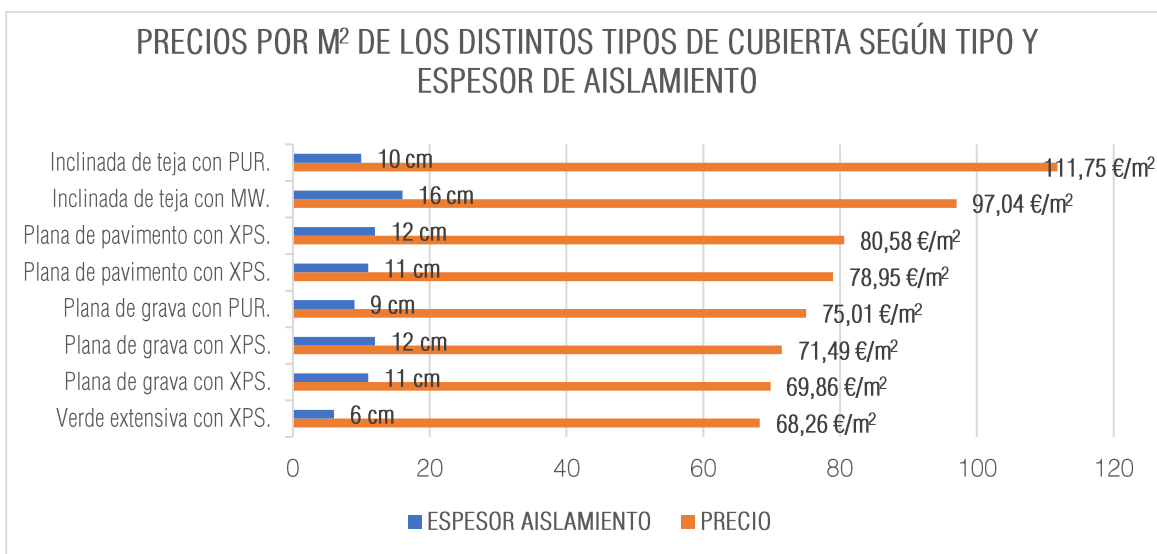


Fig. 8.2. Precios de los distintos tipos de cubierta según tipo y espesor de aislamiento.

Fuente: Elaboración propia.

Estos valores muestran cómo, con las mismas prestaciones térmicas para cada tipología de cubierta, la cubierta verde es el sistema más económico e incluso el que menor espesor de aislamiento requiere, ya que la resistencia térmica perdida por la falta de espesor en la capa aislante se compensa con la que aporta el espesor del sustrato vegetal.

Por otro lado, las cubiertas aisladas mediante poliestireno extruido y lana de roca son más económicas que las aisladas mediante poliuretano proyectado, a pesar de que el poliuretano requiere de un menor espesor de aislamiento. Esto se debe a que, para la colocación del poliuretano proyectado, es necesario mano de obra especializada y equipos de obra auxiliares, los cuales encarecen su precio por m² en comparación con el aislamiento mediante planchas de poliestireno extruido y mantas de lana de roca.

A continuación, en la Tabla 8.9 se muestra el porcentaje del aumento del coste de ejecución obtenido para cada tipología de cubierta con el obtenido para la cubierta verde.

TIPO DE CUBIERTA	CUBIERTA VERDE
Cubierta plana invertida no transitable con protección de grava y 11 cm de XPS.	2,34%
Cubierta plana invertida no transitable con protección de grava y 12 cm de XPS.	4,73%
Cubierta plana invertida no transitable con protección de grava y 9 cm de PUR proyectado.	9,89%
Cubierta plana invertida transitable con pavimento fijo y 11 cm de XPS.	15,66%
Cubierta plana invertida transitable con pavimento fijo y 12 cm de XPS.	18,05%
Cubierta inclinada con acabado de teja y 16 cm de lana de roca.	42,16%
Cubierta inclinada con acabado de teja y 10 cm de PUR proyectado.	63,71%

Tabla 8.9. Aumento en porcentaje del coste de cada tipo de cubierta con el de la cubierta verde.
Fuente: Elaboración propia.

Tras analizar los resultados para un mismo valor de transmitancia térmica aportado por cada tipología de cubierta, se observa como todas superan en coste a la cubierta verde.

Asimismo, se observa que la cubierta plana es más económica que la cubierta inclinada, en especial la cubierta de grava, ya que se trata de una cubierta no transitable y la grava es más económica que el pavimento. La cubierta inclinada es la más cara de todas las tipologías convencionales estudiadas, llegando a duplicar el precio por m² de la cubierta verde de tipo extensivo.

9 CONCLUSIONES

La implantación de sistemas vegetales en las cubiertas genera una gran cantidad de beneficios tanto para la vivienda como para el medioambiente, el cual afecta, no sólo al usuario, sino también a todos los ciudadanos.

A lo largo de los años, se ha demostrado, a través de innumerables estudios, que el desarrollo humano y la consecuente sobreexplotación de la infraestructura urbana ha conllevado a la destrucción de gran parte de las zonas verdes, causando altos niveles de contaminación en el centro de las grandes ciudades. Asimismo, esto ha provocado que se acumulen altas cantidades de CO₂ en la atmósfera, causando que el calentamiento global se precipite y con ello, la temperatura ambiente de las ciudades.

Las cubiertas vegetales son una de las soluciones más efectivas y económicas para minimizar este problema. Además de disminuir los niveles de contaminación y regular la temperatura ambiente, no tienen que recurrir a utilizar zonas inhabilitadas para ello, puesto que éstas aprovechan un espacio útil que se encuentra, en la mayoría de los casos, en desuso.

En cuanto al grado de aislamiento térmico que proporcionan, es bastante elevado en comparación con otros sistemas constructivos más convencionales. El sistema de tipo extensivo con un espesor de sustrato vegetal de 15 cm y una fina capa de aislamiento térmico de XPS de 6 cm, ofrece una transmitancia térmica de 0,24 W/m²·K, lo que representa un 27,27% más bajo que el límite establecido como recomendado por el Código Técnico de la Edificación de 0,33 W/m²·K para la zona de Valencia. El resto de soluciones constructivas tradicionales estudiadas, necesitan aumentar su capa de aislamiento considerablemente, llegando a alcanzar espesores de hasta 11 cm con XPS y de 15 cm con lana de roca, para lograr el mismo valor de transmitancia térmica que aporta la cubierta verde.

Ejecutando cubiertas verdes en los edificios, la demanda en refrigeración y calefacción de las viviendas puede verse minimizada, contribuyendo así a un ahorro energético por parte del usuario y, a su vez, a la disminución de las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Los beneficios contribuyentes a minimizar los efectos medioambientales perjudiciales son claros, pero es que, además, la cubierta verde consigue que las construcciones estén mejor integradas en el paisaje.

La ausencia de cubiertas verdes en la mayoría de edificaciones podría generar la impresión de que esto es debido a un elevado coste en la ejecución de dicha solución

constructiva. Pero tras el análisis y el estudio realizado, se comprueba como el precio de la cubierta verde de tipo extensivo es más económico frente a otros tipos de cubierta más convencionales, ya que, al tener que aumentar el espesor del aislamiento en cada una de ellas para equiparar la transmitancia térmica aportada por la cubierta verde, el precio de las mismas se eleva.

La cubierta plana invertida no transitable con protección de grava y 12 cm de poliestireno extruido supera al coste por m² de la cubierta verde de tipo extensivo en un 4,73%, mientras que la aislada mediante poliuretano proyectado supera en un 9,89%. La cubierta plana invertida transitable con acabado de pavimento fijo y poliestireno extruido es algo más cara que la anterior, superando el coste de ejecución de la cubierta verde en un 18,05% para un espesor de aislamiento de 12 cm. Por último, la cubierta inclinada con acabado de teja curva es la solución constructiva más cara, llegando a alcanzar porcentajes por encima del coste de ejecución de la cubierta verde del 42,16% para la aislada mediante lana de roca y del 63,71% para la aislada mediante poliuretano proyectado.

Asimismo, otro de los beneficios que aporta la cubierta verde y genera un consecuente ahorro económico es la reducción en los costes de reparación y mantenimiento. Los materiales utilizados en la construcción de cubiertas como la grava, el pavimento o las láminas asfálticas, absorben gran cantidad de calor generando altas temperaturas superficiales que se transmiten capa a capa dañando la lámina impermeable y deteriorando la función principal de la cubierta. En cambio, la vegetación repela gran parte de los rayos ultravioleta, manteniendo la cubierta a una temperatura estable que no se transfiere ni llega a dañar la capa impermeable.

Recopilando todos y cada uno de los beneficios que la cubierta verde aporta, tanto al medioambiente como a la sociedad, incluido el ahorro económico que genera al usuario, se concluye como una medida sostenible necesaria a adoptar en los edificios de nueva construcción. Como iniciativa en nuestro país, se deberían promover subvenciones o incluso leyes, como ya practican en otros países como Canadá o Dinamarca, que agilicen el proceso de ejecución de este tipo de sistemas y, con ello, se ayude a combatir el cambio climático y mejorar el medioambiente.

En cuanto a la implantación de la cubierta verde en el ámbito de la rehabilitación, ésta sería una buena herramienta para adaptar las edificaciones a las exigencias del Código Técnico de la Edificación, ya que, además de contribuir a la disminución del CO₂, aporta una mejora en el acondicionamiento térmico de la vivienda. Principalmente, sería

conveniente la utilización de sistemas de tipo extensivo, ya que generan un menor peso que las de tipo intensivo y, por lo tanto, menos inconvenientes. Para ello, será necesario realizar un estudio previo de la estructura del edificio existente para conocer su capacidad de carga y comprobar si, finalmente, sus capacidades le permiten soportar e incorporar en él una cubierta vegetal.

En cuanto a las futuras líneas de investigación que deja abiertas este trabajo final de grado, se encuentra el estudio del ahorro económico que genera la cubierta verde a través de su mantenimiento frente al de otras cubiertas convencionales y la influencia del peso en el ámbito de la rehabilitación.

10 BIBLIOGRAFÍA

- ALPUCHE, M.G., MORENO, H., OCHOA, J.M. y MARINCIC, I., 2011. Análisis térmico de viviendas económicas en México utilizando techos verdes. , pp. 59-67.
- ANSA, 2014. Estudio británico revela que el acceso a áreas verdes es clave en la calidad de vida de las personas. *La Tercera* [en línea]. [Consulta: 24 abril 2018]. Disponible en: <http://www2.latercera.com/noticia/estudio-britanico-revela-que-el-acceso-a-areas-verdes-es-clave-en-la-calidad-de-vida-de-las-personas/>.
- AWAD NÚÑEZ, S., 2014. Antecedentes. Historia de las cubiertas vegetales. [en línea]. [Consulta: 20 marzo 2018]. Disponible en: <http://urbanismoytransporte.com/antecedentes-historia-de-las-cubiertas-vegetales/>.
- Beneficios de las cubiertas vegetales. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 13 abril 2018]. Disponible en: <https://www.singulargreen.com/beneficios-de-las-cubiertas-vegetales/>.
- CARTER, T. y KEELER, A., 2008. Life-cycle cost-benefit analysis of extensive vegetated roof systems. *Journal of Environmental Management*, vol. 87, no. 3, pp. 350-363. ISSN 03014797. DOI 10.1016/j.jenvman.2007.01.024.
- CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN, 2007. Documento Básico-HE Ahorro de Energía. [en línea], vol. 2017, pp. 1-129. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DBHE.pdf>.
- CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN, 2015. Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía DA DB-HE / 1 Cálculo de parámetros característicos de la envolvente. [en línea], pp. 1-19. Disponible en: http://www.arquitectura-tecnica.com/hit/Hit2016-2/DA-DB-HE-1-Calculo_de_parametros_caracteristicos.pdf.
- CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN (CTE), 2017. Documento Básico HS - Salubridad. [en línea], pp. 142. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/salubridad/DBHS.pdf>.
- ECODIARIO.ES, 2014. Un estudio revela que las cubiertas verdes en los edificios pueden reducir hasta un 50% el consumo energético. [en línea]. [Consulta: 5 julio 2018]. Disponible en: <http://ecodiario.eleconomista.es/espana/noticias/5653348/03/14/Un-estudio-revela-que-las-cubiertas-verdes-en-los-edificios-pueden-reducir-hasta-un-50->

el-consumo-energetico.html?_ga=2.151544377.1883582863.1531479657-1164870629.1529409030.

ECOHABITAR, 2015. Techos verdes. [en línea]. [Consulta: 15 abril 2018]. Disponible en: <http://www.ecohabitar.org/tag/techos-verdes/>.

EL PAÍS, 2013. Un estudio demuestra la idoneidad de las cubiertas vegetales para climas calurosos | País Vasco. [en línea]. [Consulta: 30 abril 2018]. Disponible en: https://elpais.com/ccaa/2013/08/06/paisvasco/1375788981_083160.html.

GONZÁLEZ CILLER, L., [sin fecha]. Evolución de las cubiertas vegetales. [en línea]. [Consulta: 20 marzo 2018]. Disponible en: <https://www.urbanarbolismo.es/blog/evolucion-historica-de-las-cubiertas-vegetales/>.

GREGORI, J., 2017. Aumentan en España las muertes por contaminación atmosférica | Ciencia y tecnología | Cadena SER. [en línea]. [Consulta: 15 abril 2018]. Disponible en: http://cadenaser.com/ser/2017/10/11/ciencia/1507724875_838890.html.

IBÁÑEZ, R. a., 2008. Techos vivos extensivos. *Revista de arquitectura Alarife*,

INARQUIA, 2017. 7 beneficios de las cubiertas vegetales para las ciudades. [en línea]. [Consulta: 15 abril 2018]. Disponible en: <https://inarquia.es/beneficios-cubiertas-vegetales-ciudades>.

KNAUFINSULATION, [sin fecha]. AMPO - Cubierta Verde Urbanscape. [en línea]. [Consulta: 10 abril 2018]. Disponible en: <https://www.knaufinsulation.es/referencias/ampo-cubierta-verde-urbanscape>.

LÓPEZ VÉLEZ, C.A., 2010. Un acercamiento a las cubiertas verdes. [en línea], [Consulta: 15 abril 2018]. Disponible en: [http://www.fbpsa.com/images/acercamiento a las cubiertas verdes.pdf](http://www.fbpsa.com/images/acercamiento%20a%20las%20cubiertas%20verdes.pdf).

MACHADO, M., BRITTO, C. y NEILA, J., 2003. El cálculo de la conductividad térmica equivalente en la cubierta ecológica. *Ambiente Construido* [en línea], vol. 3, no. 3, pp. 65-76. Disponible en: <http://seer.ufgrs.br/index.php/ambienteconstruido/article/viewArticle/3495%5Cnseer.ufgrs.br/ambienteconstruido/article/view/3495>.

MAYOR ARÉJULA, P. y TIMÓN ARROYO, M., 2017. Los huertos ecológicos se suben a las azoteas de los mejores hoteles. *EL MUNDO* [en línea]. 21 enero 2017. [Consulta: 2 abril 2018]. Disponible en:

- <http://www.elmundo.es/ciencia/2017/01/21/587911d2ca474130508b462d.html>.
- MINISTERIO DE FOMENTO. GOBIERNO DE ESPAÑA, 2010. Catálogo de elementos constructivos del CTE. [en línea], vol. 3, pp. 141. Disponible en: http://www.codigotecnico.org/web/recursos/aplicaciones/contenido/texto_0012.html.
- MINKE, G., [sin fecha]. Techos verdes Planificación, ejecución, consejos prácticos Gernot Minke. [en línea], [Consulta: 12 abril 2018]. Disponible en: https://ecocosas.com/wp-content/uploads/Biblioteca/Arquitectura/TechosVerdes_Pantalla.pdf.
- NEILA, J., 2013. Las casas noruegas de madera con techo de pasto. [en línea]. [Consulta: 2 julio 2018]. Disponible en: [http://sostenibilidadjavierneila.blogspot.com/search/label/LAS CASAS NORUEGAS DE MADERA CON TECHO DE PASTO](http://sostenibilidadjavierneila.blogspot.com/search/label/LAS%20CASAS%20NORUEGAS%20DE%20MADERA%20CON%20TECHO%20DE%20PASTO).
- OLIVIERI, F., DI PERNA, C., D’ORAZIO, M., OLIVIERI, L. y NEILA, J., 2013. Experimental measurements and numerical model for the summer performance assessment of extensive green roofs in a Mediterranean coastal climate. *Energy and Buildings* [en línea], vol. 63, pp. 1-14. [Consulta: 30 abril 2018]. ISSN 0378-7788. DOI 10.1016/J.ENBUILD.2013.03.054. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778813002235?via%3Dihub>.
- PALOU, N., 2017. La contaminación ambiental causa al menos 21.000 muertes en España. [en línea]. [Consulta: 5 julio 2018]. Disponible en: <http://www.lavanguardia.com/vivo/ecologia/20170602/423130232338/contaminacion-muertes-aire-ciudades-espana.html>.
- PROJAR, 2014. Nuestro proyecto de investigación con la UPV concluye que las cubiertas vegetales contribuyen a mejorar la eficiencia energética. [en línea]. [Consulta: 5 julio 2018]. Disponible en: <https://www.projar.es/nuestro-proyecto-de-investigacion-con-la-upv-concluye-que-las-cubiertas-vegetales-contribuyen-amejorar-la-eficiencia-energetica/>.
- SALAS SANJUÁN, M. del C. y MONTERO PASCUAL, J.L., 2011. Beneficios del uso de la vegetación en las ciudades. [en línea], pp. 39-41. [Consulta: 15 abril 2018]. Disponible en: <http://www.paisajismosostenible.es/jardines-verticales/Parquesyjardines.pdf>.
- SEMPERGREEN, [sin fecha]. ¿Una cubierta vegetal tiene efecto aislante? [en línea].

[Consulta: 24 abril 2018]. Disponible en:
<https://www.sempergreen.com/es/soluciones/cubiertas-vegetales/preguntas-frecuentes/una-cubierta-vegetal-tiene-efecto-aislante>.

SULENG, K., 2016. ¿Servirán los techos vegetales de los autobuses para acabar con las restricciones de tráfico? | BuenaVida | EL PAÍS. [en línea]. [Consulta: 12 abril 2018]. Disponible en:
https://elpais.com/elpais/2016/12/21/buenavida/1482327708_906613.html.

ZINCO GREEN ROOF SYSTEMS, [sin fecha]. ZinCo Green Roof Systems. [en línea], [Consulta: 15 abril 2018]. Disponible en: <http://www.zinco-cubiertas-ecologicas.es/>.